

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Porovnání profilových a plošných parametrů povrchu  
materiálu vytvořeného technologií soustružení**

**Comparison of Profile and Areal Parametres of Surface  
Material Created by Turning Technology**

|                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| Student:                     | Jan Vronka               |
| Vedoucí bakalářské práce:    | Ing. Lenka Čepová, Ph.D. |
| Konzultant bakalářské práce: | Ing. Dagmar Klichová     |

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Vronka**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**  
Téma: **Porovnání profilových a plošných parametrů povrchu materiálu  
vytvořeného technologií soustružení  
Comparison of Profile and Areal Parameters of Surface Material Created  
by Turning Technology**

Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Termíny a definice podle normy.
3. Analýza metod měření.
4. Experimentální část.
5. Zhodnocení výsledků a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] PERNIKÁŘ, J.; TYKAL, M.; VAČKÁŘ, J. *Jakost a metrologie, Část metrologie*. Brno : VUT v Brně, 2004. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.
- [2] ČEPOVÁ, L.; PETŘKOVSKÁ, L. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže FS VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011. 100 s. ISBN 978-80-248-2514-4.
- [3] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie, část 1*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. 104 s. ISBN 80-248-0671-1.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Čepová, Ph.D.**

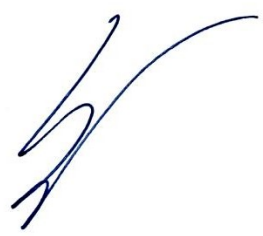
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Dagmar Klichová**

Datum zadání: **09.12.2016**

Datum odevzdání: **15.05.2017**


  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě : 15. 5. 2017

  
podpis studenta

### Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 15. 5. 2017

  
.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Jan Vronka

Adresa trvalého pobytu autora práce: Dětmarovice č. 1008, 735 71 Dětmarovice

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval své vedoucí bakalářské práce Ing. Lence Čepové, PhD. za poskytnutí cenných rad a informací k této problematice a také paní Ing. Dagmar Klichové za pomoc při měření a cenné rady při zpracování dat.

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VRONKA, J. *Porovnání profilových a plošných parametrů povrchu materiálu vytvořeného technologií soustružení : bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2017, 53 s. Vedoucí práce: Čepová, L., konzultant práce: Klichová, D.

Bakalářská práce se věnuje porovnání profilových a plošných parametrů povrchu materiálu vytvořeného technologií soustružení. V úvodu je popsán vývoj měření a hodnocení struktury povrchu. V další části práce je popsána použitá technologie soustružení, metody měření parametrů povrchu (kontaktní, bezkontaktní metody), přístroje pro měření povrchu (jejich výhody a nevýhody) a následně parametry profilu a plochy drsnosti povrchu. V experimentální části je analýza naměřených dat a následně vyhodnocení vzorků v programu SPIP, které byly měřeny pomocí optického profilometru MicroProf FRT.

## ANOTATION OF BACHELOR THESIS

VRONKA, J. *Comparison of Profile and Areal Parameters of Surface Material Created by Turning Technology : Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering metrology, 2017, 53 p. Thesis head: Čepová, L., Thesis consultant: Klichová, D.

This Bachelor thesis deals with comparison of profile and areal parameters of surface material created by turning technology. The introduction describes the development of measurement and evaluation surface structure. In another part of the thesis is described the use of turning technology, measurement methods of surface parameters (contact and non-contact methods), machines for measuring surface (their advantages and disadvantages) and subsequently parameters of the profile and surface roughness. In the experimental part is the analysis of the measured data and subsequently evaluation of the samples in the program SPIP which were measured by an optical profilometer MicroProf FRT.

# Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Seznam použitého značení, symbolů a zkratk</b> .....            | <b>8</b>  |
| <b>1 Úvod</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>2 Technologie soustružení</b> .....                             | <b>10</b> |
| 2.1 Pohyby při soustružení.....                                    | 10        |
| 2.2 Výběr úhlů geometrie řezné části nástroje.....                 | 11        |
| 2.3 Řezné podmínky .....   | 12        |
| 2.4 Plastická deformace při tvorbě třísky .....                    | 15        |
| <b>3 Parametry profilu drsnosti povrchu</b> .....                  | <b>16</b> |
| 3.1 Profil povrchu .....   | 16        |
| 3.2 Filtrování a proložení povrchu profilu.....                    | 17        |
| 3.3 Výškové parametry profilu drsnosti .....                       | 20        |
| 3.4 Délkové parametry profilu drsnosti .....                       | 21        |
| <b>4 Plošné parametry drsnosti povrchu</b> .....                   | <b>22</b> |
| 4.1 Filtrace povrchu .....   | 22        |
| 4.2 Vybrané plošné parametry drsnosti povrchu .....                | 24        |
| <b>5 Metody měření topografie povrchu</b> .....                    | <b>26</b> |
| 5.1 Kontaktní měření a přístroje .....                             | 26        |
| 5.1.1 Měření pomocí dotykového hrotového profilometru.....         | 26        |
| 5.2 Bezkontaktní měření a přístroje.....                           | 28        |
| 5.2.1 Optický profilometr MicroProf FRT.....                       | 29        |
| <b>6 Experimentální část</b> .....                                 | <b>31</b> |
| 6.1 Popis vzorku .....   | 31        |
| 6.2 Měření vzorků pomocí optického profilometru MicroProf FRT..... | 32        |
| 6.3 Analýza dat profilu povrchu .....                              | 33        |
| 6.4 Analýza dat plochy povrchu .....                               | 36        |
| 6.5 Zhodnocení měření .....  | 41        |
| <b>7 Závěr</b> .....   | <b>42</b> |
| <b>Seznam použité literatury</b> .....                             | <b>43</b> |
| <b>Seznam použitých obrázků</b> .....                              | <b>46</b> |
| <b>Seznam použitých tabulek</b> .....                              | <b>47</b> |
| <b>Seznam příloh</b> .....   | <b>48</b> |

## Seznam použitého značení, symbolů a zkratek

| Značení         | Význam  | Jednotky             |
|-----------------|---|----------------------|
| $A$             | Plocha  | [mm <sup>2</sup> ]   |
| $D$             | Průměr obráběné plochy  | [mm]                 |
| $L$             | Délka obráběné plochy   | [mm]                 |
| $P$             | Parametr profilu  | [-]                  |
| $P_t, R_t, W_t$ | Výška profilu   | [μm]                 |
| $R$             | Parametr drsnosti   | [-]                  |
| $R_a$           | Průměrná aritmetická odchylka profilu   | [μm]                 |
| $R_p$           | Největší výška výstupku profilu   | [μm]                 |
| $R_{Sm}$        | Průměrná šířka jednotlivých prvků profilu   | [mm]                 |
| $R_v$           | Největší hloubka prohlubně profilu  | [μm]                 |
| $R_z$           | Největší výška profilu  | [μm]                 |
| $SPIP$          | Obrazový procesor snímací sondy   | [-]                  |
| $S_a$           | Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu                                     | [μm]                 |
| $S_p$           | Maximální výška piku (vrcholu) omezené stupnice povrchu                               | [μm]                 |
| $S_v$           | Maximální hloubka prohlubně omezené stupnice povrchu                                  | [μm]                 |
| $S_z$           | Maximální výška omezené stupnice povrchu  | [μm]                 |
| $W$             | Parametr vlnitosti  | [-]                  |
| $X$             | Osa   | [-]                  |
| $X_s$           | Šířka prvku profilu   | [mm]                 |
| $Z_p$           | Výška výstupku profilu  | [μm]                 |
| $Z_v$           | Hloubka prohlubně profilu   | [μm]                 |
| $Z(x)$          | Hodnota pořadnic  | [μm]                 |
| $a_p$           | Hloubka obráběné vrstvy   | [mm]                 |
| cut-off         | Mezní vlnová délka  | [mm]                 |
| $d$             | Průměr obrobené plochy  | [mm]                 |
| $f$             | Posuv na otáčku   | [mm]                 |
| $l$             | Délka obrobené plochy   | [mm]                 |
| $ln$            | Vyhodnocovaná délka   | [mm]                 |
| $lr$            | Základní délka  | [mm]                 |
| max             | Maximální hodnota   | [μm]                 |
| min             | Minimální hodnota   | [μm]                 |
| $n$             | Počet otáček vřetene  | [min <sup>-1</sup> ] |
| $n$             | Počet měření  | [-]                  |
| pik             | Vrchol  | [-]                  |
| $S(x)$          | Výběrová směrodatná odchylka  | [μm]                 |
| $v_c$           | Rezná rychlost  | [m/min]              |
| $v_e$           | Výsledná rezná rychlost   | [m/min]              |
| $v_f$           | Posuvová rychlost   | [mm/ot]              |
| $\bar{X}$       | Výběrový průměr   | [μm]                 |
| $x_i$           | Naměřené hodnoty parametrů drsnosti   | [μm]                 |
| $\alpha$        | Úhel hřbetu   | [°]                  |
| $\beta$         | Úhel břitu  | [°]                  |
| $\gamma$        | Úhel čela   | [°]                  |
| $\delta$        | Úhel řezu   | [°]                  |
| $\lambda_s$     | Úhel sklonu břitu   | [°]                  |
| $\lambda_c$     | Filtr definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti                          | [mm]                 |
| $\lambda_f$     | Filtr definující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu | [mm]                 |
| $\lambda_s$     | Filtr definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu | [μm]                 |
| $\chi_r$        | Úhel nastavení hlavního ostří   | [°]                  |
| $\chi_r'$       | Úhel nastavení vedlejšího ostří   | [°]                  |



# 1 Úvod

Vývoj měření a hodnocení struktury povrchu zaznamenaly v předchozích dvou letech výrazný technický pokrok z hlediska kvality. Výrobci měřicí techniky reagovali na vyšší požadavky na kvalitu funkčních povrchů součástí, která je spojená s vysokou přesností rozměrů, tvaru a vzájemné polohy malých funkčních ploch. Vývoj techniky pro měření je výrazně ovlivňován i technickými potřebami uživatelů a jejich možnostmi z hlediska ekonomiky. Dřív se hodnotily pouze profily povrchu pomocí dotykových měřidel či zařízení. Dnes se mezi moderní trendy řadí hlavně bezdotykové měřicí přístroje řízené počítačovou technikou, které jsou výhodné zejména pro plošné hodnocení povrchu, a měření ploch s fyzikálními a technickými parametry, které jsou pro ně specifické. Plošné hodnocení povrchu, které začíná být středem zájmu, představuje složitější snímání dat pro reálnou prezentaci povrchu, při které mohou být k dispozici i grafická zobrazení či topografické mapy. [1, 2]

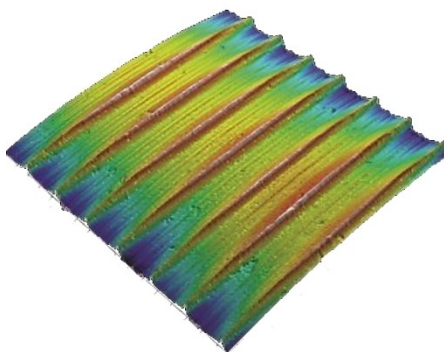
Kvalita povrchu resp. mikrogeometrie povrchu výrazně ovlivňuje životnost a spolehlivost součástí. Konkrétně na drsnosti povrchu, která byla vyhodnocována v této práci, je závislá odolnost vůči opotřebení, odolnost vůči korozi, vznikající tření při chodu součástí a hlučnost strojních součástí apod.

Bakalářská práce je zaměřená na porovnání profilu a ploch povrchu materiálu, které vznikly při obrábění metodou soustružení. Při soustružení vzniká periodický povrch, na kterém lze vidět dráhu, po které se nástroj pohybuje. Cílem práce bylo zhodnocení jednotlivých povrchů na vzorkovnici z hlediska kvality povrchu pomocí bezdotykového přístroje. Druhá kapitola je zaměřena na technologii soustružení, kterou byl daný vzorek obráběn. Zde jsou uvedeny jednotlivé operace soustružení, po kterých má povrch rozdílnou drsnost. Proto je vhodné si tento způsob obrábění přiblížit. Třetí a čtvrtá kapitola se zabývá parametry drsnosti povrchu dle normy ČSN EN ISO 4287, která byla klíčem pro konečné vyhodnocení. Pátá kapitola je věnována metodám měření obrobeného povrchu. Šestá kapitola je věnována samotnému experimentu, ve kterém je provedena analýza naměřených hodnot.

## 2 Technologie soustružení

Jde o klasickou metodu třískového obrábění pro výrobu zejména rotačních součástí pomocí jednobřitých nástrojů tzv. soustružnických nožů. Dochází k odřezávání přídatku na obrábění pomocí řezné části nástroje, který má definovanou geometrii. Vrstva, která se odřezává, odchází od obrobku ve formě třísky. K oddělení třísky má činná část nástroje klínový břit tvrdší než obráběný materiál. Soustružení obrobku se provádí na různých typech soustruhů. [3]

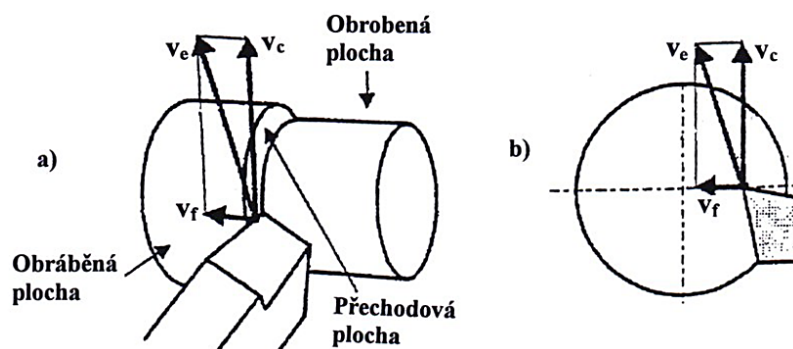
Po soustružení vzniká periodický povrch (viz obr. 1) [4].



Obr. 1 Povrch po soustružení [4]

### 2.1 Pohyby při soustružení

- **Hlavní řezný pohyb ( $v_c$ )** – jedná se o pohyb rotační a koná ho obrobek. Dochází k odebrání třísky z rotujícího obrobku prostřednictvím soustružnického nože (viz obr. 2). [3]
- **Posuvový pohyb ( $v_f$ )** – jde o pohyb vedlejší přímočarý, který vykonává nástroj. Slouží k tomu, aby nůž odebíral třísku požadovaného průřezu (viz obr. 2). [3]
- **Výsledný řezný pohyb ( $v_e$ )** – při podélném soustružení má tvar šroubovice, u čelního soustružení má tvar Archimedovy spirály (viz obr. 2) [3].



Obr. 2 Druhy soustružení a) podélné, b) čelní [3]

## **Mikrogeometrie obrobeného povrchu**

Mikrogeometrii (drsnost) obrobené plochy ovlivňují: [5]

- geometrie řezné části nástroje,
- plastická deformace při tvorbě třísky,
- řezné podmínky procesu obrábění,
- tření řezného klínu o obrobenou plochu.

## **2.2 Výběr úhlů geometrie řezné části nástroje**

### **Úhel hřbetu $\alpha$**

Tento úhel ovlivňuje velikost tření, které vzniká při pohybu hřbetu nástroje po řezné ploše. Se zmenšujícím se úhlem se zvětšuje styková plocha řezu s plochou hřbetu a dochází ke zvětšování tření mezi nimi. To může vést ke zhoršení kvality (drsnosti) povrchu. [6] Velikost tohoto úhlu se pohybuje v rozmezí od 8 do 12° (viz obr. 3) [7].

### **Úhel břitu $\beta$**

Jedná se o úhel klínové části nástroje. S jeho zvětšováním se zvětšuje odpor při oddělování třísky, proto by měl být co nejmenší. (viz obr. 3). [6]

### **Úhel čela $\gamma$ a úhel řezu $\delta$**

Mají největší vliv na průběh řezání. Úhel čela může mít kladnou i zápornou hodnotu. Pokud je úhel  $\delta$  menší než 90°, pak je úhel  $\gamma$  kladný, pokud je naopak větší, tak je úhel  $\gamma$  záporný. Při zvětšujícím se úhlu  $\delta$  se úhel čela  $\gamma$  zmenšuje. V důsledku toho se zvětšuje intenzita plastických deformací ve vrstvě, kterou odřezáváme z materiálu, a tím i tření třísky odváděné po čele nástroje. Dále se zvětší intenzita otupování břitu a řezný odpor materiálu. Při velkém úhlu čela  $\gamma$  se zhoršuje drsnost obrobené plochy, protože břit materiál vytrhává. [6] Velikost úhlu  $\gamma$  se pohybuje v rozmezí od -8 do 8° (viz obr. 3) [7].

### **Úhel nastavení hlavního ostří $\chi_r$**

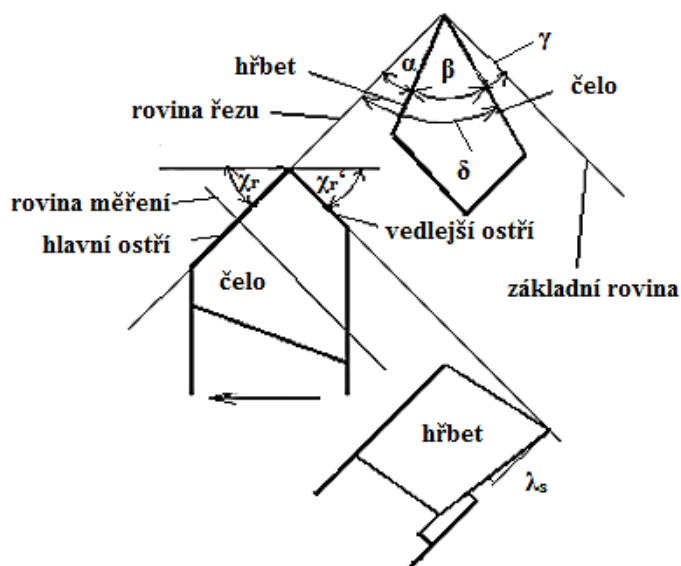
Určuje polohu ostří vzhledem k obrobku. Dále určuje průřez třísky. Tento úhel by měl být vždy co nejmenší, ale nesmí docházet k velkému tření mezi nástrojem a obrobenou plochou. [6] Velikost úhlu se pohybuje v rozmezí od 45 do 90° (viz obr. 3) [7]. Pokud se úhel zmenšuje v oblasti větších posuvů, zmenšují se i parametry drsnosti povrchu, u menších posuvů vliv úhlu ztrácí význam [6].

### Úhel nastavení vedlejšího ostří $\chi_r$

Tento úhel ovlivňuje kvalitu obrobené plochy a tření mezi nástrojem a obrobenou plochou. Se zmenšujícím se úhlem se zmenšuje i drsnost obrobené plochy, protože jsou stopy po obrábění menší než při větším úhlu. [6] Velikost úhlu se pohybuje v rozmezí od 45 do 90° (viz obr. 3) [7].

### Úhel sklonu břitu $\lambda_s$

Tento úhel má vliv na odchod třísky po čele, tuhost břitu, trvanlivost břitu či kvalitu povrchu. Lepší kvality povrchu (tedy i drsnosti) je dosaženo u nástrojů, jehož úhel  $\lambda_s$  je kladný, záporný úhel  $\lambda_s$  působí na povrch negativně, protože je složitější odchod třísky (viz obr. 3). [6]



Obr. 3 Geometrie nože [6]

## 2.3 Řezné podmínky

**Řezná rychlost ( $v_c$ )** – Je definovaná jako obvodová rychlost, která je měřena na obráběné ploše. Je také nazývána jako rychlost hlavního řezného pohybu. [3] Vliv řezné rychlosti na opotřebení břitu nože (viz obr. 4).

Pro soustružení se řezné rychlosti pohybují v rozsahu 10 až 600 m/min v závislosti na materiálu, který obrábíme, a na nástrojovém materiálu [8]. V tab. 1 jsou uvedeny hodnoty řezných rychlostí pro jednotlivé způsoby soustružení.

Tab. 1 Hodnoty řezných rychlostí pro soustružení [8]

|                          | <b>Rychlořezná ocel</b> | <b>Slinutý karbid</b> |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|
| <b>Hrubování</b>         | 10 až 90 m/min          | 40 až 300 m/min       |
| <b>Na čisto</b>          | 20 až 120 m/min         | 50 až 500 m/min       |
| <b>Jemné soustružení</b> | 40 až 150 m/min         | 60 až 600 m/min       |

Obvodová řezná rychlost  $v_c$  [m/min] v místě soustružení je definovaná: [3]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1)$$

kde:

$D$  – průměr obráběné plochy [mm]

$n$  – počet otáček vřetene [ $\text{min}^{-1}$ ]

**Posuv ( $v_f$ )** – Je definovaný jako dráha, kterou vykoná nástroj za jednu otáčku obrobku [18]. Běžně se posuv pohybuje v rozmezí 0,05 až 2 mm/ot [8]. Se snižující se hodnotou posuvu klesají hodnoty parametrů drsnosti povrchu.

Vliv posuvu na opotřebení břitu nože (viz obr. 4). V tab. 2 jsou uvedeny hodnoty posuvu pro jednotlivé způsoby soustružení.

Tab. 2 Posuvy pro soustružení [8]

|                          |                   |
|--------------------------|-------------------|
| <b>Hrubování</b>         | 0,3 až 2 mm/ot    |
| <b>Na čisto</b>          | 0,1 až 0,3 mm/ot  |
| <b>Jemné soustružení</b> | 0,05 až 0,1 mm/ot |

Posuv  $v_f$  [mm/ot] při soustružení: [3]

$$v_f = f \cdot n \quad (2)$$

kde:

$f$  – posuv na otáčku [mm]

$n$  – počet otáček vřetene [ $\text{min}^{-1}$ ]

**Tloušťka obráběné vrstvy  $a_p$**  – od několika desetin mm až po mm [3]. Vliv řezné rychlosti na opotřebení břitu nože (viz obr. 4). Pro dosažení lepší drsnosti povrchu by měla být tloušťka co nejmenší.

Velikost hloubky (tloušťky) záběru se pohybuje v rozmezí 0,03 až 30 mm [8].

Tab. 3 Velikost hloubky záběru při soustružení [8]

|                          |                |
|--------------------------|----------------|
| <b>Hrubování</b>         | 3 až 30 mm     |
| <b>Na čisto</b>          | 0,5 až 3 mm    |
| <b>Jemné soustružení</b> | 0,03 až 0,5 mm |

Tloušťka obráběné vrstvy  $a_p$  [mm] pro podélné soustružení: [3]

$$a_p = 0,5 \cdot (D - d) \quad (3)$$

kde:

$D$  – průměr obráběné plochy [mm]

$d$  – průměr obrobenej plochy [mm]

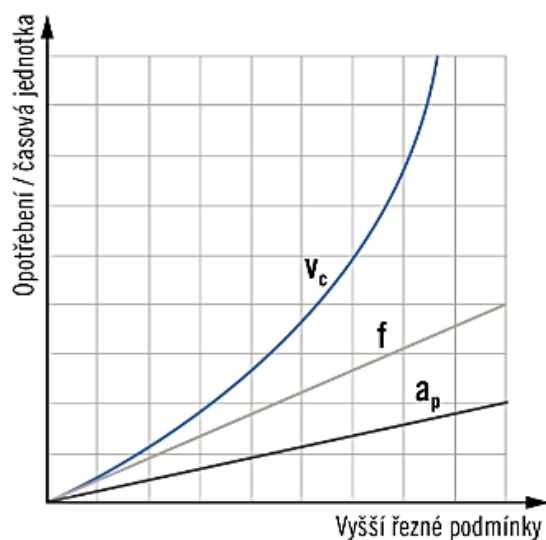
Tloušťka obráběné vrstvy  $a_p$  [mm] pro čelní soustružení: [3]

$$a_p = L - l \quad (4)$$

kde:

$L$  – délka obráběné plochy [mm]

$l$  – délka obrobenej plochy [mm]



Obr. 4 Vliv řezných podmínek na opotřebení břitů nože [9]

U jednotlivých operací soustružení jsou získávány rozdílné hodnoty parametrů drsnosti povrchu. Při hrubování se dosahuje hodnoty parametru drsnosti  $Ra$  větší než  $6,3 \mu\text{m}$ , při obrábění na čisto  $1,6$  až  $6,3 \mu\text{m}$  a při jemném soustružení  $0,2$  až  $1,6 \mu\text{m}$ . [8]

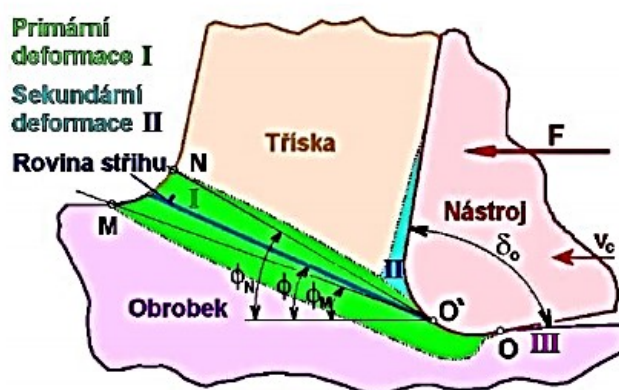
Velikosti těchto hodnot parametrů drsnosti jsou zjišťovány pomocí měření.

## 2.4 Plastická deformace při tvorbě třísky

Vliv této deformace je založen na adhezivních silách, které vznikají mezi nástrojem a obrobkem, a na tvorbě nárůstků. Dochází k oddělování nárůstků od ploch řezného nástroje, které se přilepí na obrobený povrch. Na tomto povrchu dochází k tvorbě vyvýšenin. Vyvýšeniny se mohou při procesu řezání odtrhávat z povrchu a objeví se vytrhané plošky. Tyto jevy vedou ke snižování kvality povrchu a zhoršování drsnosti.

[10]

Plastická deformace dále způsobuje mechanické zatížení nástroje řeznými odpory, opotřebení nástroje, tepelné zatížení nástroje, vznik zbytkových napětí v povrchové vrstvě obrobené plochy, či přechování třísky [7]. Jednotlivé oblasti plastických deformací, které vznikají v oblasti řezu, lze vidět na obr. 5.



Obr. 5 Oblasti plastických deformací v oblasti řezání [7]

**Kmitání** – Jeho vlivem dochází ke vzrůstu teoretického sledu pohybů řezné hrany. Má vliv na proces oddělování nárůstků od nástrojových ploch. [10]

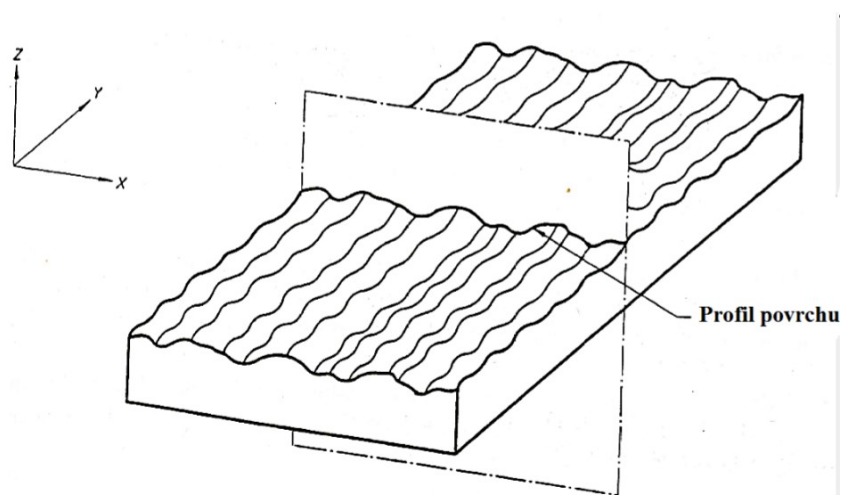
**Tření hřbetu nože o obrobek** – Jeho vlivem jsou nerovnosti řezné hrany kopírovány na obráběný povrch, to má neblahý vliv na drsnost povrchu [10].

### 3 Parametry profilu drsnosti povrchu

#### 3.1 Profil povrchu

Všechny metody, které jsou používány při procesu obrábění, vytvářejí na povrchu nerovnosti. Nerovnosti vytvořené na povrchu představují prostorový útvar, který lze vyřešit pomocí redukce do roviny řezu, a to rovinou, která je kolmá k povrchu. [11, 12]

Profil vzniká jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny (viz obr. 6) [13].



Obr. 6 Profil nerovnosti povrchu [12]

#### Základní profil

Tvoří základ pro hodnocení parametrů základního profilu [13].

#### Profil drsnosti

Je odvozen ze základního profilu. Získá se potlačením dlouhovlnných složek pomocí filtru  $\lambda_c$ . Profil je úmyslně pozměněný (viz obr. 7). [12, 13]

#### Profil vlnitosti

Je odvozen postupným použitím filtrů profilu  $\lambda_f$  a  $\lambda_c$  na základní profil, kdy dochází k potlačení složky dlouhovlnné pomocí filtru profilu  $\lambda_f$  a krátkovlnné složky pomocí filtru profilu  $\lambda_c$ . Profil je úmyslně pozměněný (viz obr. 7). [12, 13]

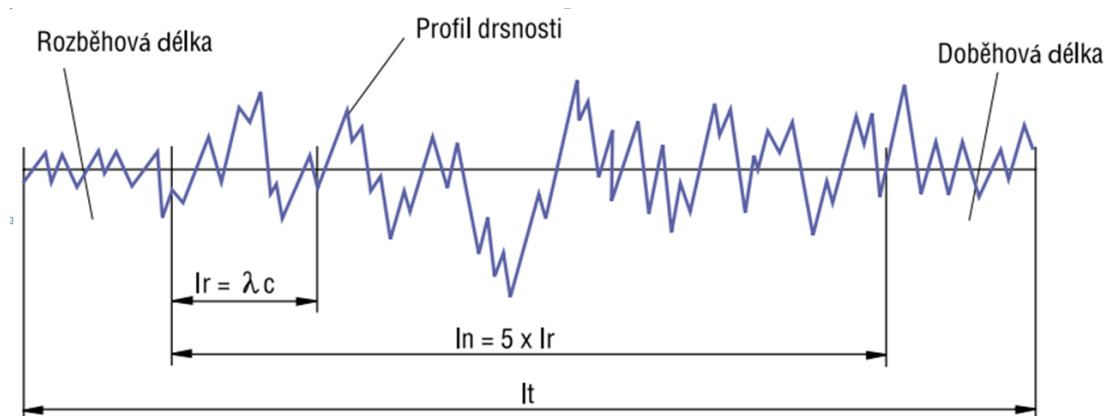


### Základní délka $l_r$

Jedná se o délku ve směru osy  $X$ . Tato délka se používá k rozpoznání nerovností, charakterizující povrch, který vyhodnocujeme. Základní délka pro drsnost  $l_r$  je číselně rovna hodnotě vlnové délky profilového filtru  $\lambda_c$  (viz obr. 7). [13]

### Vyhodnocovaná délka $l_n$

Jedná se o délku ve směru osy  $X$ . Tato délka se používá pro posuzování vyhodnocovaného povrchu (viz obr. 7). [13]



Obr. 7 Základní délka  $l_r$  a vyhodnocovaná délka  $l_n$  [14]

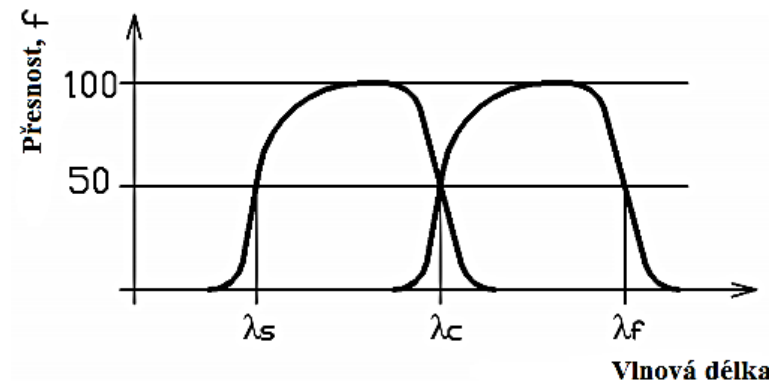
## 3.2 Filtrování a proložení povrchu profilu

Filtr slouží pro oddělení vlnitosti a drsnosti profilu od sebe (viz obr. 9) [15].

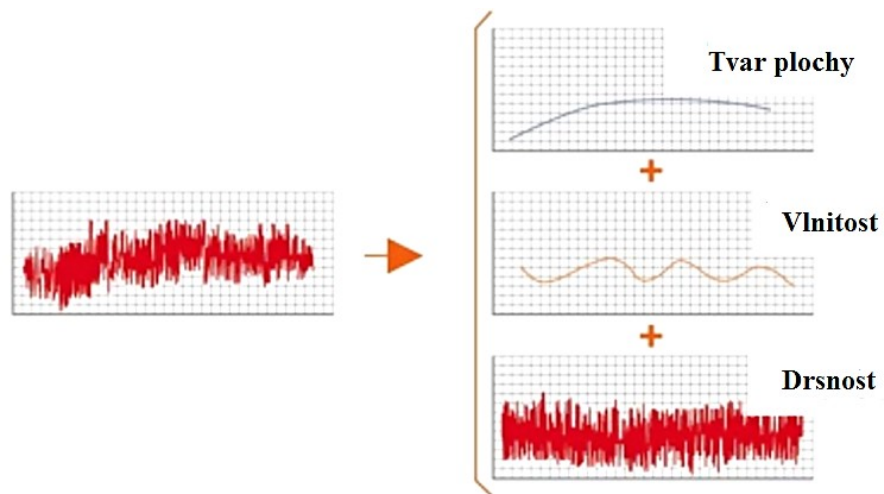
V přístrojích pro měření drsnosti, vlnitosti a základního profilu (viz obr. 8) používáme tři druhy filtrů. Tyto filtry mají stejné přenosové charakteristiky, ale hodnoty vlnové délky cut-off jsou rozdílné. [13]

- **$\lambda_s$  filtr profilu:** filtr, který definuje rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln, které jsou přítomné na povrchu (viz obr. 8) [13].
- **$\lambda_c$  filtr profilu:** filtr, který definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti (viz obr. 8) [13].
- **$\lambda_f$  filtr profilu:** filtr, který definuje rozhraní mezi vlnitostí a dalšími složkami vln, které jsou přítomné na povrchu. (viz obr. 8) [13].

Proložení povrchu slouží pro odstranění náklonu nebo tvaru povrchu (viz obr. 9) [15].



Obr. 8 Přenosová charakteristika profile drsnosti a vlnitosti [13]

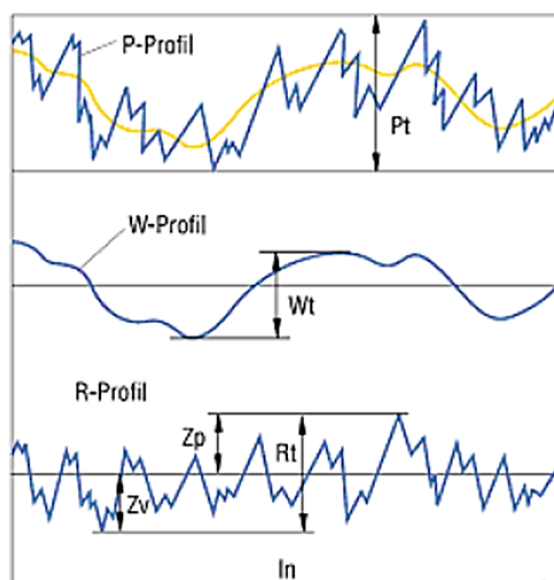


Obr. 9 Zpracování měřeného povrchu [15]

**P – parametr:** parametr, který vypočteme ze základního profilu (viz obr. 10) [13].

**R – parametr:** parametr, který vypočteme z profilu drsnosti (viz obr. 10) [13].

**W – parametr:** parametr, který vypočteme z profilu vlnitosti (viz obr. 10) [13].



Obr. 10 Geometrické parametry profilu [14]

Tato práce se zabývá pouze parametrem R-Profilu.

K této práci bylo potřeba upravit naměřený povrch proložením do roviny a filtrováním pro získání drsnosti, aby mohlo být provedeno experimentální porovnání.

Profilové parametry drsnosti povrchu vycházejí z normy ČSN EN ISO 4287 a jsou definovány v níže uvedených podkapitolách.

### **Drsnost povrchu**

Drsnost povrchu můžeme definovat jako vertikální odchylku skutečného povrchu od jeho ideální hladké formy. Drsnost nelze přesně charakterizovat jedním parametrem, ale existuje celá řada parametrů, které tento pojem popisují. Jedná se o parametry popisující profily povrchu, popřípadě trojrozměrné plochy povrchu dle normy ČSN EN ISO 4287. [16]

Rozdíly v drsnosti na povrchu materiálu mají vliv na velké množství vlastností povrchu jako například velikost opotřebení, těsnění při kontaktu s jiným povrchem, tloušťku nátěrů apod. To je hlavním důvodem, proč zjišťujeme a vyhodnocujeme drsnost povrchu. [17]

### 3.3 Výškové parametry profilu drsnosti

#### Největší výška výstupku profilu $R_p$ [ $\mu\text{m}$ ]

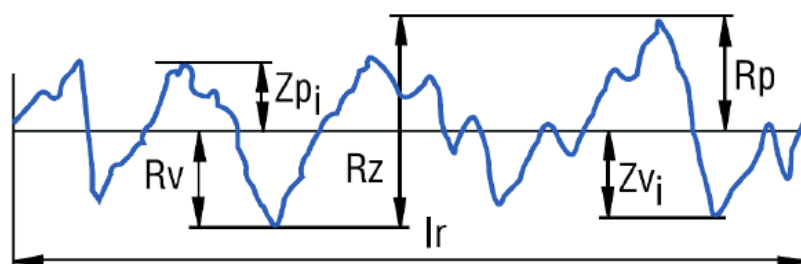
Jedná se o výšku  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu v rozsahu dané základní délky  $l_r$  (viz obr. 11) [13].

#### Největší hloubka prohlubně profilu $R_v$ [ $\mu\text{m}$ ]

Jedná se o hloubku  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu dané základní délky  $l_r$  (viz obr. 11) [13].

#### Největší výška profilu $R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]

Největší výška je definována jako součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky (viz obr. 11) [13].

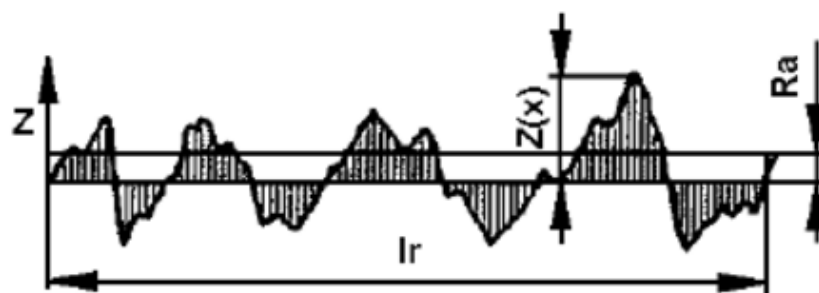


Obr. 11 Největší výška výstupku profilu  $R_p$ , největší hloubka prohlubně profilu  $R_v$ , největší výška profilu  $R_z$  [14]

#### Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu $R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]

Je definována jako aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic  $Z(x)$  v daném rozsahu základní délky  $l_r$  (viz obr. 12) [13].

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (5)$$



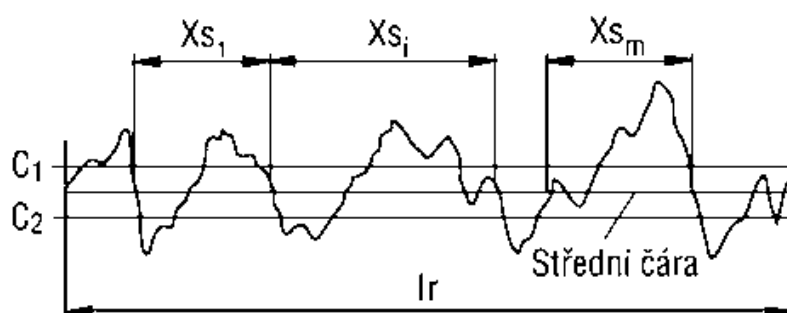
Obr. 12 Parametr profilu  $Ra$  [18]

### 3.4 Délkové parametry profilu drsnosti

#### Průměrná šířka jednotlivých prvků profilu $RSm$ [mm]

Je definovaná jako aritmetický průměr šířek  $Xs$  prvků profilu pro rozsah dané základní délky  $lr$  (viz obr. 13). Tento parametry  $RSm$  požaduje délkové a výškové omezení. Pokud není stanoveno jinak, tak se omezení výšek uvažuje 10 %  $Rz$  a omezení roztečí 1 % dané základní délky. Oba požadavky musí být dodrženy. [13]

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i \quad (6)$$



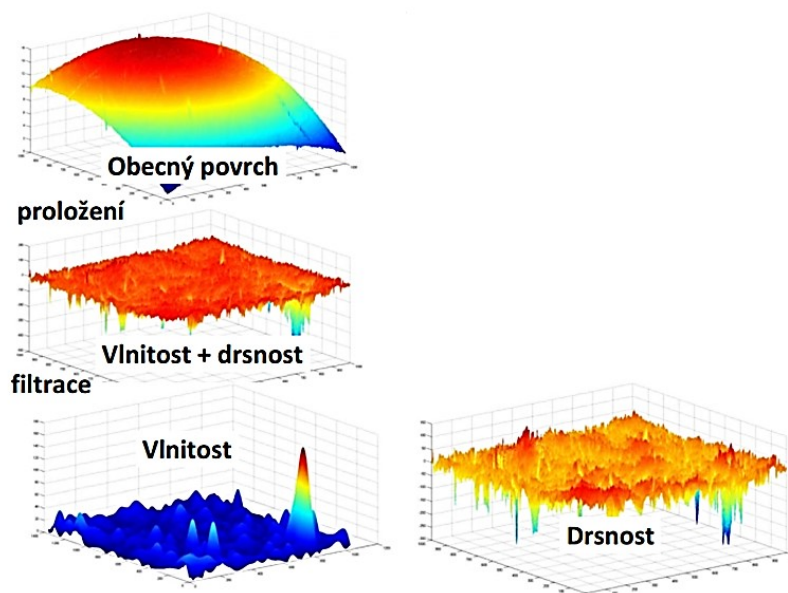
Obr. 13 Parametr  $RSm$  [14]

## 4 Plošné parametry drsnosti povrchu

Pro komplexnější analýzu zkoumaného povrchu je přínosnější využití plošné (trojrozměrné) metody, která aplikuje poznatky z profilové (dvojrozměrné) metody a rozšiřuje je o nové poznatky.

### 4.1 Filtrace povrchu

Obrobený povrch je souborem nerovností, které tvoří strukturu povrchu. Separaci složek struktury povrchu docílíme jejich filtrováním. Při kvantifikovaném hodnocení topografie povrchu pomocí normovaných plošných parametrů je důležité správně zvolit nastavení filtrů. Znázornění postupu filtrace pro získání plošných parametrů drsnosti je uvedeno na obrázku 14.



Obr. 14 Filtrace plochy [19]

#### S-filtr

Jedná se o filtr povrchu, který slouží k odstranění malé laterální stupnice z povrchu, což je předpokladem pro dosažení povrchu primárního (viz obr. 15) [19].

#### L-filtr

Jedná se o filtr povrchu, který slouží k odstranění velké laterální stupnice z povrchu primárního nebo S-F povrchu (viz obr. 15) [19].

## F-operace

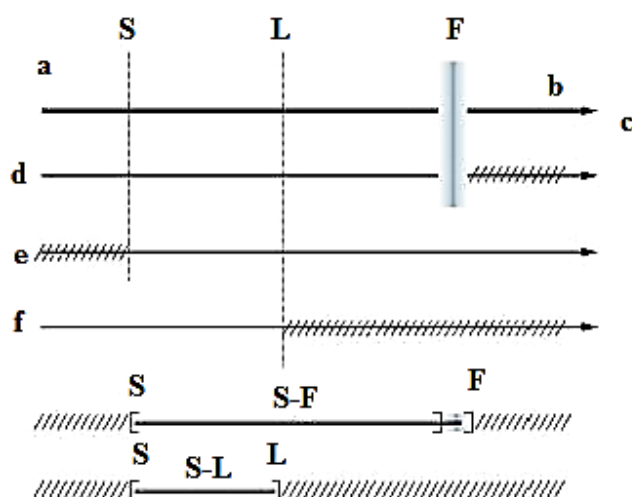
Operace, která slouží k vyloučení vlivu tvaru z povrchu primárního. Některé mají velmi rozdílné akce filtrace, prostřednictvím kterých může dojít k omezení velké laterální stupnice povrchu. Velký počet L-filtrů je citlivých na tvar a požaduje se nejprve F-operace jako předfiltr před samotným použitím L-filtrů (viz obr. 15). [19]

## S-F povrch

Jedná se o povrch, který je odvozen z povrchu primárního, a to pomocí vyloučení vlivu tvaru využitím F-operace (viz obr. 15) [19].

## S-L povrch

Jedná se o povrch odvozený od S-F povrchu pomocí vyloučení vlivu velké stupnice při použití L-filtru (viz obr. 15) [19].



Obr. 15 Vztahy mezi S-filtrem, L-filtrem, F- operací a S-F a S-L povrchy [19]

Na obr. 15 je možno vidět označení malé stupnice (a), velké stupnice (b), osy stupnice (c), F-filtrace (d), S-filtru (e), L-filtru (f) [19].

Norma ČSN EN ISO 25178-3 nám říká, jaký je postup při filtrování povrchu. V této normě nalezneme tabulky, které nám slouží k určení S a F-filtru a F-operací. Záleží na tom, jaký druh metody měření při nasnímání povrchu použijeme. Pro povrchy, které měříme optickou metodou, se používá tabulka 3 (str. 11) v normě ČSN EN ISO 25178-3 [20].

V tabulce se vybere maximální laterální perioda meze, na jejímž základu se pak stanoví maximální vzorkovací vzdálenost, a tím zjistí hodnota S-filtru indexu vnoření.

Pokud je známá hodnota S-filtru indexu vnoření, může se určit pomocí tabulky 1 (str. 9) v normě ČSN EN ISO 25178-3 [20] hodnota F-operace nebo L-filtru. Správná volba filtrů je důležitým předpokladem pro získání skutečných hodnot plošných parametrů.

## 4.2 Vybrané plošné parametry drsnosti povrchu

Plošné parametry drsnosti povrchu jsou definovány dle normy ČSN EN ISO 25178-2 [19].

### Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu $S_a$ [ $\mu\text{m}$ ]

Jedná se o aritmetický průměr absolutních hodnot koordinace uvnitř předem určené plochy ( $A$ ) [19].

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |z(x, y)| dx dy \quad (7)$$

### Maximální výška omezené stupnice povrchu $S_z$ [ $\mu\text{m}$ ]

Je definovaná jako součet maximální hodnoty výšky piku  $S_p$  a maximální hodnoty hloubky prohlubně uvnitř předem určené plochy  $S_v$  (viz obr. 16) [19].

Pojem „pik“ znamená „vrchol“, tento pojem je odvozen od anglického slova „peak“, což v překladu znamená výstupek [4].

Je dána vztahem: [4]

$$S_z = S_p + S_v \quad (8)$$

### Maximální výška piku (vrcholu) omezené stupnice povrchu $S_p$ [ $\mu\text{m}$ ]

Je definovaná jako největší hodnota výšky piku (vrcholu) uvnitř předem určené plochy (viz obr. 16) [19].

Je dána vztahem: [4]

$$S_p = \max\{z_p(x, y)\} \quad (9)$$

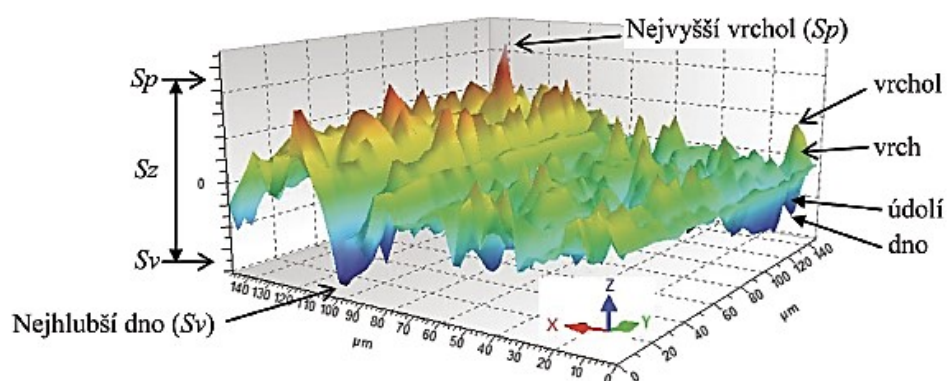


### Maximální hloubka prohlubně omezené stupnice povrchu $S_v$ [ $\mu\text{m}$ ]

Je definovaná jako hloubka prohlubně uvnitř předem určené plochy, která je zmenšená o její nejmenší hodnotu (viz obr. 16) [19].

Je dána vztahem: [4]

$$S_v = \max\{|z_p(x, y)|\} \quad (10)$$



Obr. 16 Objasnění vybraných výškových parametrů textury povrchu [4]

## 5 Metody měření topografie povrchu

V dnešní době existuje mnoho přístrojů a metod pro měření topografie povrchu jak pro 2D metodu, tak i pro 3D metodu. V následujících částech kapitoly si přiblížíme aktuální způsoby měření, které jsou používány jak ve vědecké činnosti, tak i v oblasti kontroly drsnosti povrchu v dílnách.

### 5.1 Kontaktní měření a přístroje

Při klasickém kontaktním měření se využívá spojitého snímání přímého kontaktu s povrchem, který je měřený. K tomuto snímání se využívá měřicí hlava (snímač), který je součástí přístroje. Pokud se měří textura povrchu, je využito ideálně bodového dotyku s měřeným povrchem součástí, a to pomocí dotyku diamantového hrotu, který je důležitým prvkem pro získání profilu. Kontaktní přístroj je schopen získat odchylky ve formě profilu povrchu, vypočítat parametry profilu a je také schopen profil zaznamenávat. [2, 21]

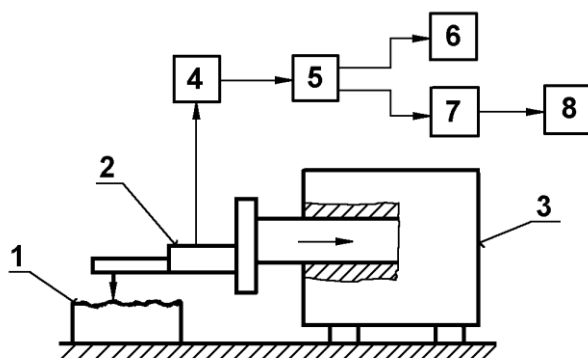
Za ideální tvar snímacího hrotu je považován kužel s kulovou špičkou. Poloměr zaoblení špičky obvykle nabývá hodnot 2  $\mu\text{m}$ , 5  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$ . Vrcholový úhel kužele bývá 60° nebo 90°. Pokud není určeno jinak, tak se používá pro „ideální“ přístroj vrcholový úhel kužele 60°. [21]

#### 5.1.1 Měření pomocí dotykového hrotového profilometru

Tato metoda je založena na zisku informací o profilu pomocí ostrého hrotu, který se posouvá po měřeném povrchu v předem zvoleném směru. Dotykový hrotový profilometr (viz obr. 17) je složen z mechanické a elektronické části. Mechanická část je tvořena stolem, který slouží k umístění měřené součásti, ramenem se snímacím hrotem, který slouží pro snímání nerovnosti povrchu, a elektromotorem pro zajištění přímočarého vratného pohybu. Elektronická část slouží pro transformaci mechanického signálu generovaného mechanickým hrotem na elektrický signál, který je následně zpracován. [22]

Měřicí základnu tvoří přesná přímá nebo tvarová dráha snímače, kdy se jedná o snímání absolutní, nebo ji tvoří dráha generovaná opěrnou patkou, která klouže po povrchu, který měříme – snímání relativní. [22]

Musí být zde velmi přesný pohyb snímacího hrotu, a to z hlediska přímosti a rovnoměrnosti. Rychlost se volí s ohledem na dynamické vlastnosti snímacího systému. [22]



Obr. 17 Princip měření dotykovým profilometrem [22]

Dotykový profilometr (viz obr. 17) je tvořen snímací hlavicí s měřícím hrotem (2) pro měření součásti (1), posuvovým mechanismem (3), zesilovačem (4), filtrem (5), registrační jednotkou (6), jednotkou zpracovávající měřicí signál (7) a zobrazovací jednotkou (8). [22]

Správnost výsledků měření ovlivňuje velikost poloměru zaoblení snímacího hrotu ( $2\text{ }\mu\text{m}$ ,  $5\text{ }\mu\text{m}$ ,  $10\text{ }\mu\text{m}$ ), velikost vrcholového úhlu snímacího hrotu ( $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ), velikost měřicí (přítlačné) síly (cca  $0,75\text{ mN}$ ), rychlost změny měřicí síly, velikost poloměru zaoblení kluzné patky snímače (u relativní metody) a celkové geometrické uspořádání systému snímače. [22]

V tab. 4 jsou uvedeny výhody a nevýhody dotykových měřidel.

Tab. 4 Výhody a nevýhody dotykových měřidel [11]

| Nevýhody                                 | Výhody   |
|--|--|
| Destrukce povrchů u měkkých materiálů.   | Vhodné pro kalibraci výsledků z nepřímých metod. |
| Je potřeba měnit hroty.                  | Velká rozlišovací schopnost.                     |
| Pomalý pohyb hrotu po zkoušeném povrchu. | Přímé měření parametrů topografie povrchu.       |

## 5.2 Bezkontaktní měření a přístroje

Optické metody jsou považovány za vhodnou alternativu měření povrchu k měření pomocí dotkových profilometrů. Výhodou optických profilometrů je vyšší efektivnost a operativnost než u mechanických, protože dovolují nedestruktivně a bez kontaktu měřit povrchy.

Optickými metodami hodnotíme strukturu povrchu pomocí interakce světla s nerovnostmi povrchu. Tyto metody jsou schopné kopírovat zdrsňený povrch pomocí světelného paprsku a mohou nám poskytnout velký počet důležitých informací o charakteru tohoto povrchu. Slouží k měření menších ploch, podle zvětšení se mohou měřit plochy v řádech několika mm až po oblast mikronovou. [11]

**Laserové systémy** – pracují na principu dvou různoběžných laserových paprsků, protínajících se ve vzdálenosti, která je přesně definovaná. Ve chvíli, kdy dojde na měřeném povrchu k průniku těchto paprsků, tak jednotka stroje, která slouží k vyhodnocení, zaznamená dotyk. Laserový paprsek umožňuje skenování v jedné nebo třech rovinách. [25]

**Kamerové systémy** – pracují na principu využití optické kamery, která přenáší optický signál na digitální obraz používaný pro výpočet měřených bodů ve vyhodnocovacím programu [25].

V současné době se využívá v praxi počítačová tomografie, kdy dochází k získávání informací měřeného modulu nedestruktivním způsobem [25].

V tab. 5 jsou uvedeny výhody a nevýhody optických metod.

Tab. 5 Výhody a nevýhody optických metod [11]

| Nevýhody                                     | Výhody   |
|--|--|
| Měření parametrů topografie je nepřímé.      | Schopnost kontinuální kontroly a řízení kvality povrchu. |
| Složitější interpretace výsledků.            | Opakovatelnost měření a okamžitost výsledků.             |
| Výsledek měření ovlivněn okolním prostředím. | Bezkontaktnost a nedestruktivnost.                       |

Pro bezdotykové měření se používá řada přístrojů jako například LuphoScan a LuphoScan 260 HD od výrobce Taylor Hobson, jejichž distribuci pro Českou republiku zajišťuje firma IMECO TH [23]. Dále může být také použit optický profilometr MicroProf FRT [24]. Na Vysoké škole báňské je možno se setkat se zařízením InfiniteFocus jehož výrobcem je Alicona.

V této práci bylo prováděno měření pomocí optického profilometru MicroProf FRT.

### 5.2.1 Optický profilometr MicroProf FRT

Optický profilometr MicroProf FRT (viz obr. 18, 19), je zařízení, které je vhodné pro měření nejen profilu povrchu, ale i pro skenování plochy povrchu materiálu, který zkoumáme. Na konstrukci zařízení je pevně upnut měřicí senzor, který se pohybuje pouze v jedné ose, a to v ose z. Vzorek je vložen na odměřovací stůl, který umožňuje přesný pohyb definovanou rychlostí ve směru os x a y. [24]

Trojrozměrný obraz topografie povrchu, který dostaneme, nám umožňuje provést rozsáhlejší analýzu textury povrchu. Z naměřených profilů povrchové struktury byly vypočteny výškové parametry drsnosti. [24]

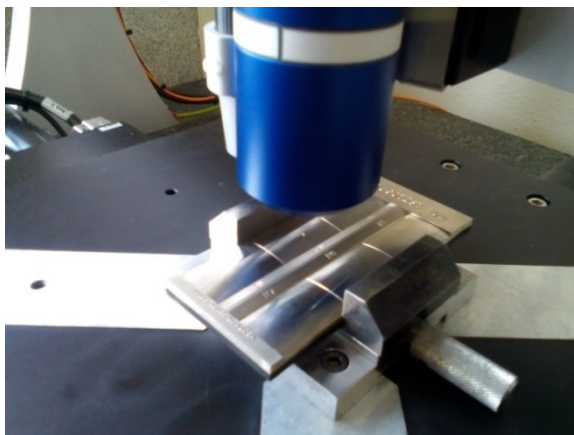


Obr. 18 Optický profilometr MicroProf FRT

Optická metoda pracuje na principu využití bílého světla, které je přiváděno pomocí optického vlákna ze zdroje ke spojné čočce. Spojná čočka zajišťuje zaostření jednotlivých monochromatických složek bílého světla do různé výšky nad vztažnou rovinou. Po dopadu na zkoumaný povrch vzorku je zaostřené světlo odraženo zpět do čočky a pomocí optického vlákna přiváděno do spektrometru. [24]

Hodnota vlnové délky maxima intenzity světla vystupujícího ze spektrometru, je na základě kalibrační tabulky převedena na hodnotu, která odpovídá vzdálenosti mezi senzorem a povrchem vzorku. Tím dostáváme informace o výškových nerovnostech na povrchu. [24]

Technické specifikace zařízení jsou uvedeny v tab. 12 v příloze A.



Obr. 19 Snímání povrchu vzorkovnice

## 6 Experimentální část

Cílem experimentální části bylo porovnat vybrané profilové a plošné parametry drsnosti povrchu materiálu etalonu, vytvořeného technologií soustružení.

Experimentální část probíhala ve spolupráci s Ústavem Geoniky AV ČR v. v. i., kde bylo provedeno měření povrchu na optickém profilometru MicroProf FRT a vyhodnocení pomocí softwaru SPIP (Scanning Probe Image Processor – Obrazový procesor snímací sondy).

### 6.1 Popis vzorku

Pro experimentální část byl použit etalon vzorkovnice soustružení z materiálu ocel 1.1191 ČSN 42 2050 od firmy RUGOTEST o rozměrech 110x50 mm. Na vzorkovnici RUGOTEST 102 se nachází 6 vzorků s označením N5–N10 (rozsah parametru drsnosti  $Ra$  je 0,4–12,5  $\mu\text{m}$ ). Čím má povrch vzorku větší hodnotu parametru  $Ra$ , tím je označen vyšším číslem. Pro tuto práci byly měřeny povrchy vzorků s označením N5 ( $Ra = 0,4 \mu\text{m}$ ), N6 ( $Ra = 0,8 \mu\text{m}$ ) a N7 ( $Ra = 1,6 \mu\text{m}$ ), viz obrázek 20. Pro měření byla na každém povrchu vzorku vymezená plocha 4x4 mm, která byla dále vyhodnocována. Plochy byly vymezeny v okrajové části vybraných soustružených povrchů z důvodu toho, že je povrch jednotlivých vzorků ve středové části poškozen dřívější manipulací. Výrobce definované parametry drsnosti profilu pro jednotlivé vzorky, které jsou uvedeny v tab. 6.



Obr. 20 Vzorkovnice soustružení RUGOTEST 102

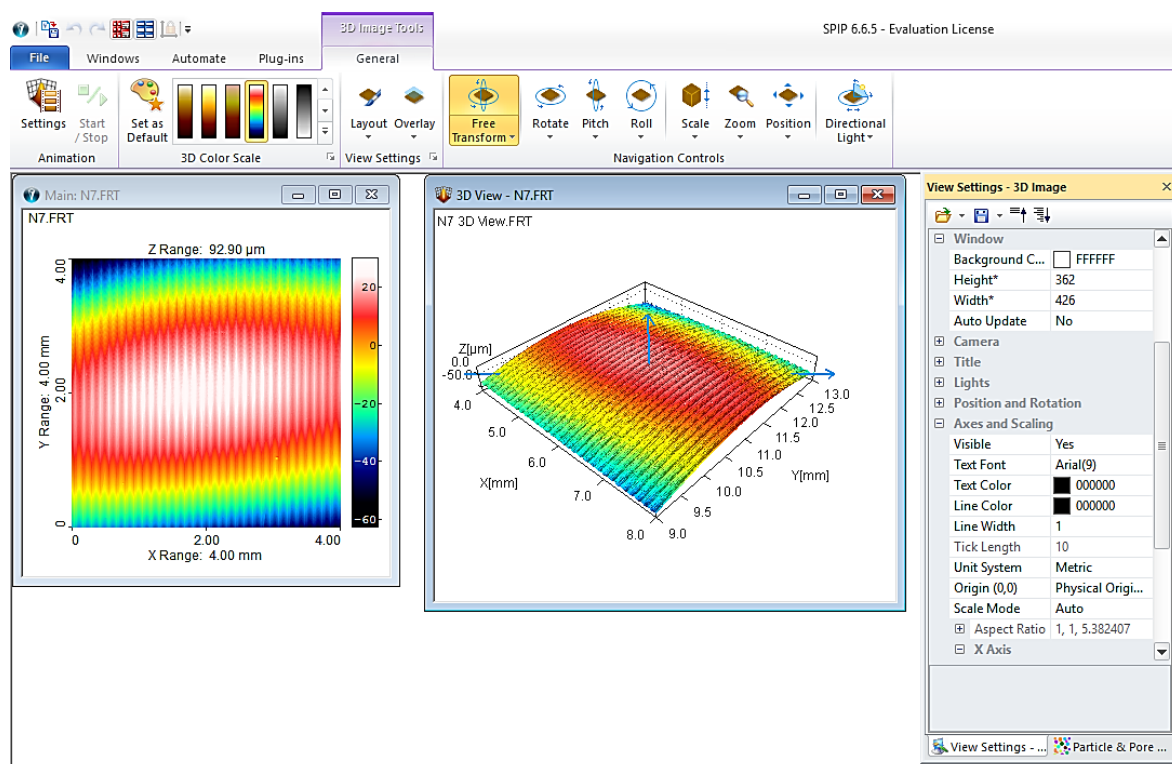
Tab. 6 Parametry drsnosti povrchu vzorků

|                   | N5  | N6  | N7  | N8   | N9  | N10  |
|-------------------|-----|-----|-----|------|-----|------|
| <b>Ra</b><br>[μm] | 0,4 | 0,8 | 1,6 | 3,2  | 6,3 | 12,5 |
| <b>Rp</b><br>[μm] | 0,8 | 1,6 | 3,2 | 6,3  | 16  | 32   |
| <b>Rz</b><br>[μm] | 1,6 | 3,2 | 6,3 | 12,5 | 25  | 50   |

## 6.2 Měření vzorků pomocí optického profilometru MicroProf FRT

Podrobný popis funkce přístroje MicroProf FRT je uveden v kapitole 5.2.1. Technické specifikace přístroje jsou uvedeny v příloze A.

Vzorek byl umístěn do svěráku na pohyblivém skenovacím stolku pod nepohybujícím se senzorem. Při měření se skenovací stůlek pohyboval v definovaných liniích. Celkový počet měřených linií byl 1000 a vzdálenost mezi liniemi byla 4 μm. Při měření byly získány údaje o textuře studovaného povrchu naměřeného prostřednictvím paprsku bílého světla. Zpracování získaných dat bylo provedeno pomocí programu SPIP, pomocí kterého byla provedena rozsáhlá analýza těchto dat. Pracovní prostředí programu SPIP je zobrazeno na obr. 21.



Obr. 21 Ukázka z programu SPIP



### 6.3 Analýza dat profilu povrchu

Na naměřených vzorcích s označením N5, N6, N7 byl v programu SPIP nejprve odstraněn tvar těchto soustružených povrchů vzorků, které byly následně přefiltrovány pomocí lc filtru 0,8 mm. Na všech liniích vzdálených od sebe 4 μm byly zjištěny profilové parametry drsnosti definované dle normy ČSN EN ISO 4287. Z těchto dosažených hodnot byla vybrána z každého povrchu vzorku každá 100. hodnota, která byla zapsána do tabulky (viz tab. 7, 8, 9), a to pro vybrané výškové parametry drsnosti  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rv$ ,  $Rp$  a délkový parametr drsnosti  $RSm$ , definice uvedených parametrů byly blíže popsány v podkapitole 3.3 a 3.4. Ze získaných hodnot v tabulkách byla zjištěna pro každý parametr průměrná hodnota  $\bar{X}$ , maximální a minimální hodnota (max, min) a směrodatná odchylka  $S(x)$ , které byly klíčem ke konečnému vyhodnocení.

#### Výběrový průměr [μm]

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (11)$$

#### Výběrová směrodatná odchylka [μm]

$$S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (12)$$

$n$  – počet měření

$x_i$  – naměřené hodnoty parametrů drsnosti

Tab. 7 Profilové parametry povrchu vzorku N5 – pro  $Ra$  0,4  $\mu\text{m}$

| <i>profil č.</i>            | <i>Ra</i> [ $\mu\text{m}$ ] | <i>Rz</i> [ $\mu\text{m}$ ] | <i>Rp</i> [ $\mu\text{m}$ ] | <i>Rv</i> [ $\mu\text{m}$ ] | <i>RSm</i> [mm] |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 1                           | 1,04                        | 5,14                        | 2,19                        | 2,94                        | 0,04            |
| 2                           | 1,05                        | 5,24                        | 2,24                        | 3,00                        | 0,04            |
| 3                           | 1,07                        | 5,53                        | 2,13                        | 3,40                        | 0,04            |
| 4                           | 1,08                        | 5,35                        | 2,25                        | 3,10                        | 0,04            |
| 5                           | 1,11                        | 5,63                        | 2,29                        | 3,34                        | 0,04            |
| 6                           | 1,09                        | 6,01                        | 2,41                        | 3,60                        | 0,04            |
| 7                           | 1,10                        | 5,78                        | 2,30                        | 3,48                        | 0,04            |
| 8                           | 1,13                        | 5,86                        | 2,22                        | 3,64                        | 0,04            |
| 9                           | 1,13                        | 5,99                        | 2,32                        | 3,67                        | 0,04            |
| 10                          | 1,20                        | 7,02                        | 3,04                        | 3,99                        | 0,04            |
| <b><math>\bar{X}</math></b> | <b>1,10</b>                 | <b>5,76</b>                 | <b>2,34</b>                 | <b>3,42</b>                 | <b>0,04</b>     |
| <b>max</b>                  | 1,20                        | 7,02                        | 3,04                        | 3,99                        | 0,04            |
| <b>min</b>                  | 1,04                        | 5,14                        | 2,13                        | 2,94                        | 0,04            |
| <b><math>S(x)</math></b>    | 0,05                        | 0,54                        | 0,26                        | 0,33                        | 0               |

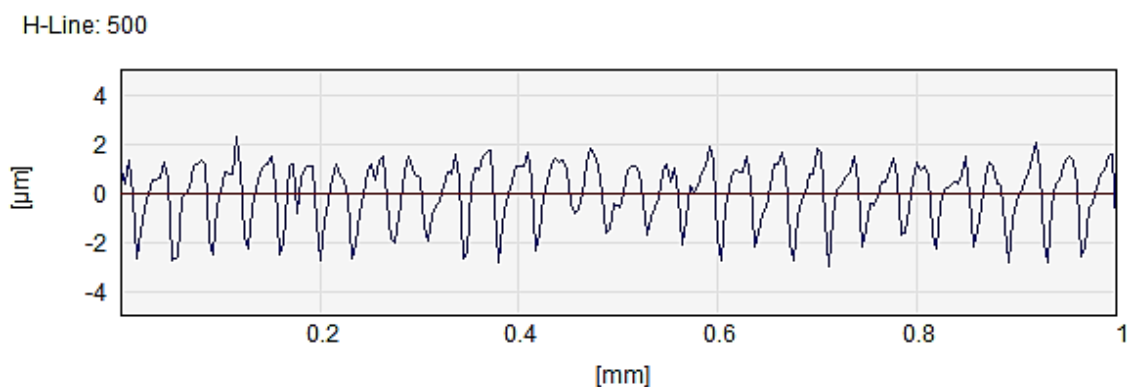
Tab. 8 Profilové parametry povrchu vzorku N6 – pro  $Ra$  0,8  $\mu\text{m}$

| <i>profil č.</i>            | <i>Ra</i> [ $\mu\text{m}$ ] | <i>Rz</i> [ $\mu\text{m}$ ] | <i>Rp</i> [ $\mu\text{m}$ ] | <i>Rv</i> [ $\mu\text{m}$ ] | <i>RSm</i> [mm] |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 1                           | 1,22                        | 6,58                        | 3,35                        | 3,23                        | 0,06            |
| 2                           | 1,23                        | 7,20                        | 3,71                        | 3,49                        | 0,06            |
| 3                           | 1,24                        | 7,26                        | 3,85                        | 3,40                        | 0,06            |
| 4                           | 1,23                        | 7,09                        | 3,71                        | 3,38                        | 0,06            |
| 5                           | 1,27                        | 7,52                        | 3,94                        | 3,59                        | 0,06            |
| 6                           | 1,25                        | 7,18                        | 3,71                        | 3,46                        | 0,06            |
| 7                           | 1,24                        | 6,94                        | 3,42                        | 3,52                        | 0,06            |
| 8                           | 1,24                        | 6,86                        | 3,39                        | 3,47                        | 0,06            |
| 9                           | 1,25                        | 7,28                        | 3,64                        | 3,64                        | 0,06            |
| 10                          | 1,24                        | 7,08                        | 3,42                        | 3,66                        | 0,06            |
| <b><math>\bar{X}</math></b> | <b>1,20</b>                 | <b>7,09</b>                 | <b>3,61</b>                 | <b>3,48</b>                 | <b>0,06</b>     |
| <b>max</b>                  | 1,27                        | 7,52                        | 3,94                        | 3,66                        | 0,06            |
| <b>min</b>                  | 1,22                        | 6,58                        | 3,35                        | 3,23                        | 0,06            |
| <b><math>S(x)</math></b>    | 0,05                        | 0,26                        | 0,21                        | 0,13                        | 0               |

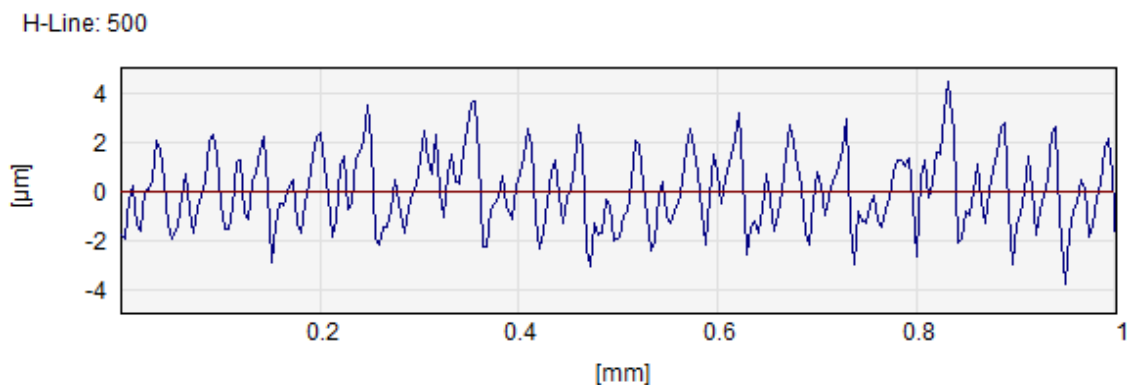
Tab. 9 Profilové parametry povrchu vzorku N7 – pro  $Ra$  1,6  $\mu\text{m}$

| <i>profil č.</i>            | <i>Ra</i> [ $\mu\text{m}$ ] | <i>Rz</i> [ $\mu\text{m}$ ] | <i>Rp</i> [ $\mu\text{m}$ ] | <i>Rv</i> [ $\mu\text{m}$ ] | <i>RSm</i> [mm] |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 1                           | 1,90                        | 10,76                       | 6,43                        | 4,33                        | 0,13            |
| 2                           | 1,72                        | 10,16                       | 5,81                        | 4,35                        | 0,13            |
| 3                           | 1,61                        | 8,91                        | 5,31                        | 3,60                        | 0,12            |
| 4                           | 1,48                        | 8,53                        | 4,92                        | 3,62                        | 0,13            |
| 5                           | 1,52                        | 7,61                        | 4,30                        | 3,31                        | 0,13            |
| 6                           | 1,51                        | 7,27                        | 4,23                        | 3,03                        | 0,13            |
| 7                           | 1,50                        | 7,52                        | 4,43                        | 3,09                        | 0,13            |
| 8                           | 1,48                        | 8,31                        | 4,91                        | 3,39                        | 0,13            |
| 9                           | 1,45                        | 7,50                        | 4,44                        | 3,06                        | 0,13            |
| 10                          | 1,48                        | 8,28                        | 4,89                        | 3,40                        | 0,13            |
| <b><math>\bar{X}</math></b> | <b>1,6</b>                  | <b>8,49</b>                 | <b>4,97</b>                 | <b>3,52</b>                 | <b>0,13</b>     |
| <b>max</b>                  | 1,90                        | 10,76                       | 6,43                        | 4,35                        | 0,13            |
| <b>min</b>                  | 1,45                        | 7,27                        | 4,23                        | 3,03                        | 0,13            |
| <b><math>S(x)</math></b>    | 0,15                        | 1,17                        | 0,71                        | 0,48                        | 0               |

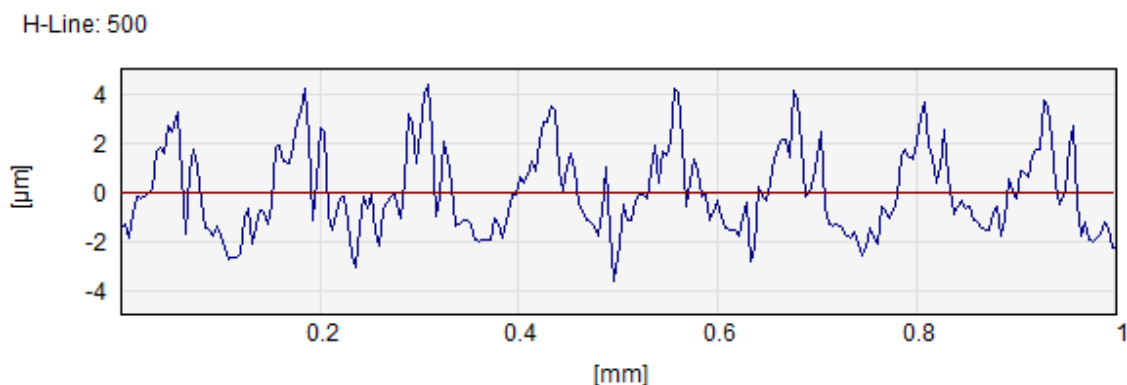
V programu SPIP byla analyzována proměřená část vzorků s označením N5, N6, N7. V měřených oblastech každého vzorku byla vybrána 1 linie v úseku 1 mm, ve které je možné nejlépe rozpoznat na profilových křivkách rozdíly v drsnosti na povrchu. Z vodorovné měřicí linie byl získán signál, který ukazuje členitost profilu každého povrchu (viz obr. 22, 23, 24).



Obr. 22 Profil drsnosti – povrch N5



Obr. 23 Profil drsnosti – povrch N6



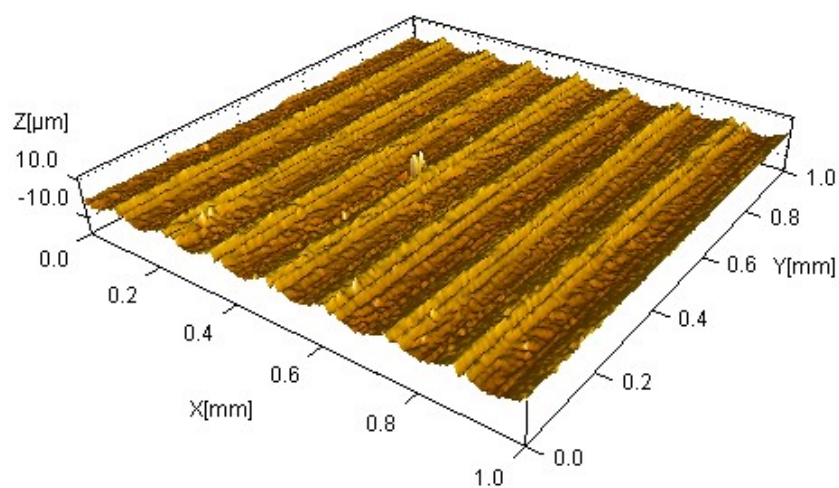
Obr. 24 Profil drsnosti – povrch N7

## 6.4 Analýza dat plochy povrchu

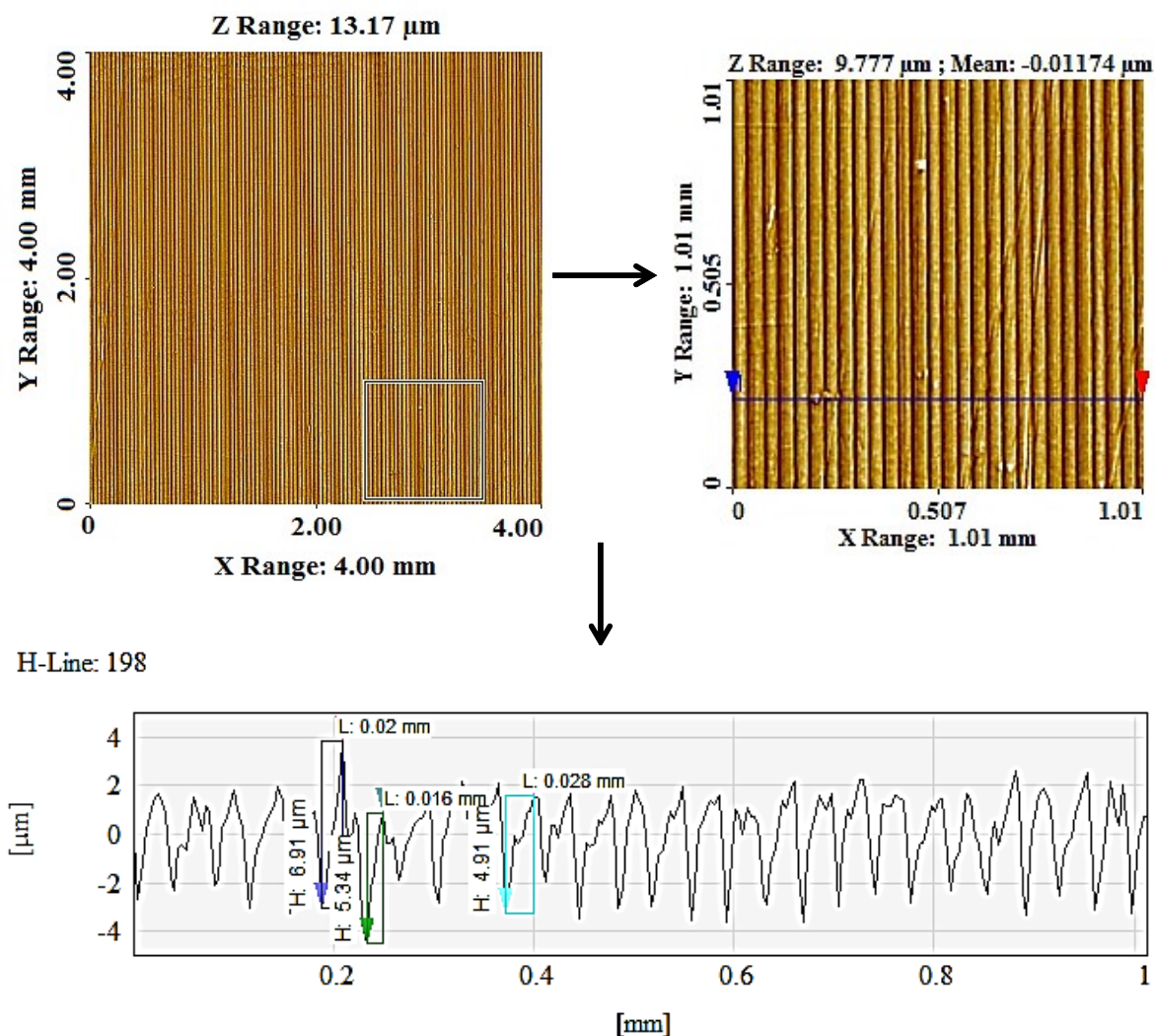
Na naměřených vzorcích s označením N5, N6, N7 byl v programu SPIP nejprve odstraněn tvar těchto soustružených povrchů vzorků, které byly následně přefiltrovány pomocí S-filtru 5  $\mu\text{m}$  a L-filtru 0,8 mm. Následně byly vypočítány hodnoty plošných parametrů drsnosti  $Sa$ ,  $Sz$ ,  $Sp$  a  $Sv$  (viz tabulka 10) definovaných podle normy ČSN EN ISO 25178-2. Pro měření byla použita plocha o velikosti 4x4 mm, která je doporučena normou ČSN EN ISO 25178-2. V měřených oblastech každého vzorku byla vybrána 1 linie v úseku 1 mm. Na profilu vybrané linie vidíme nerovnosti povrchu vzorků, které způsobují, že výsledné hodnoty plošných parametrů jsou vyšší než profilové parametry.

Tab. 10 Plošné parametry drsnosti

|           | $Sa$ [ $\mu\text{m}$ ] | $Sz$ [ $\mu\text{m}$ ] | $Sv$ [ $\mu\text{m}$ ] | $Sp$ [ $\mu\text{m}$ ] |
|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <b>N5</b> | 1,09                   | 13,17                  | 6,99                   | 6,17                   |
| <b>N6</b> | 1,25                   | 13,15                  | 7,49                   | 5,65                   |
| <b>N7</b> | 1,59                   | 30,05                  | 18,19                  | 11,86                  |

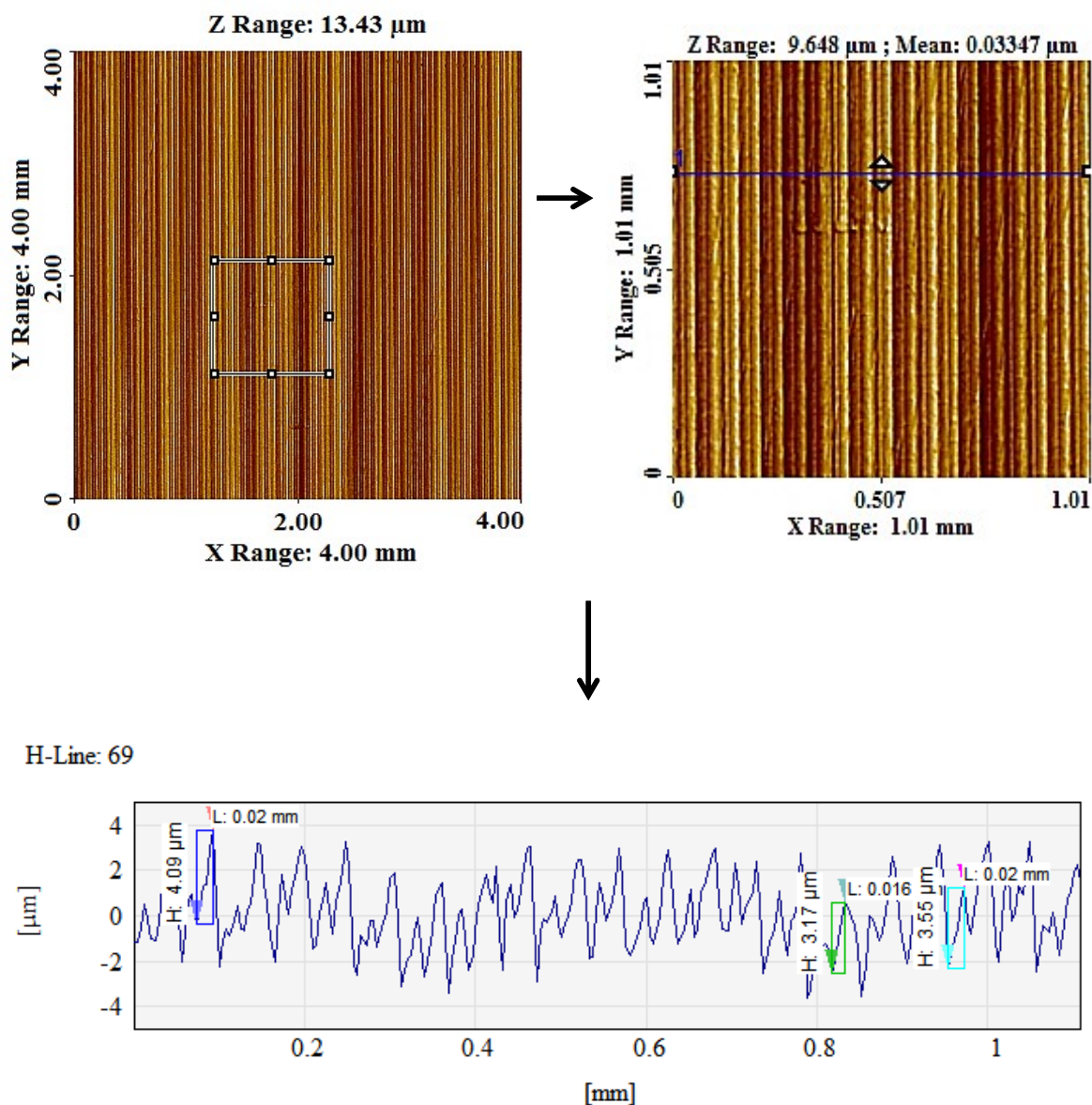


Obr. 25 Plocha povrchu vzorku N7



Obr. 26 Plocha povrchu vzorku N5 s detailem nerovností

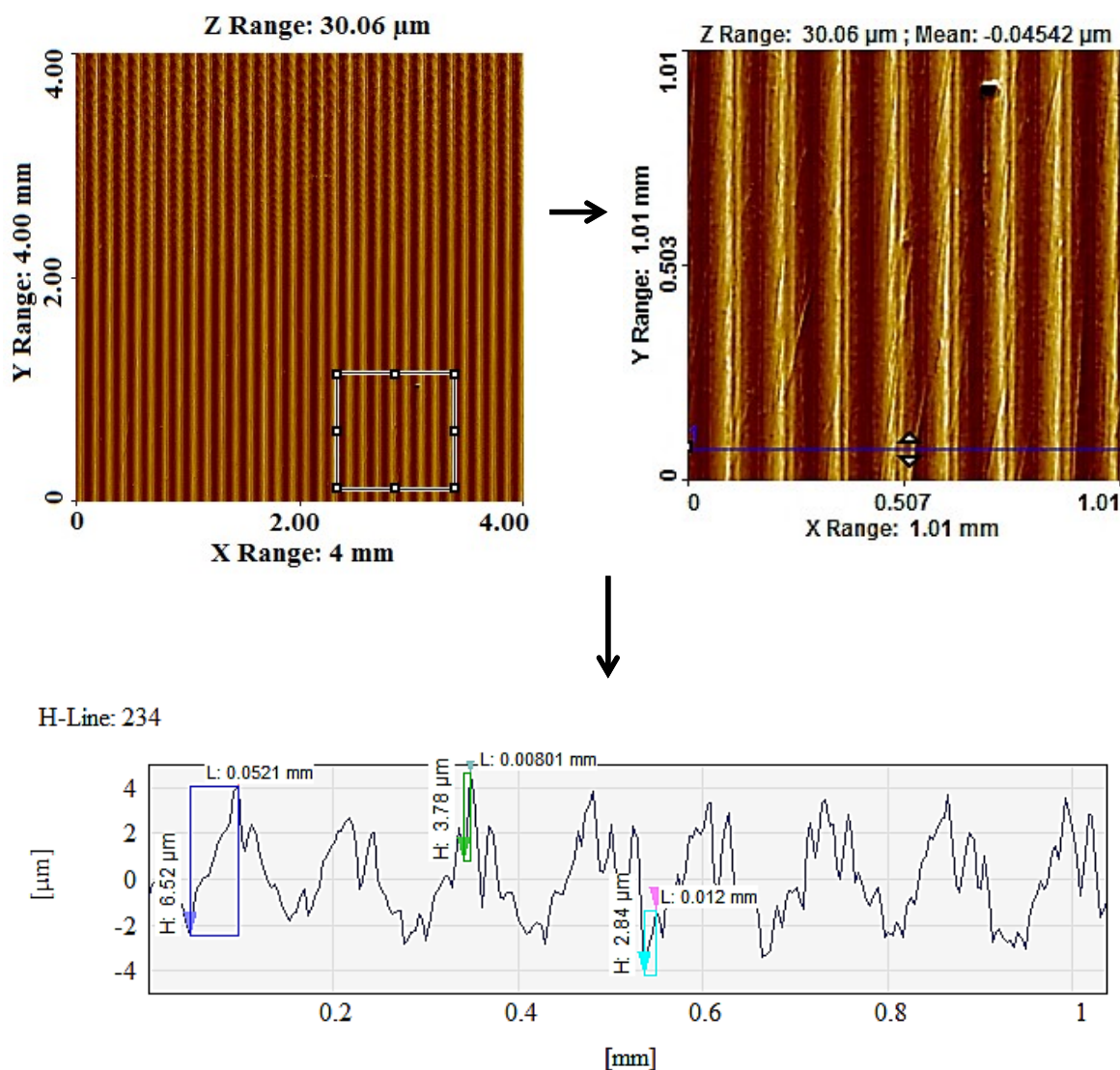
Na obr. 26 je možno vidět jeden z vybraných detailů povrchu vzorku N5, na kterém se nachází nerovnosti, jako jsou rýhy či různé nalepené nečistoty, které mohou ovlivňovat hodnoty měření. Dále lze také vidět profil v jedné vybrané linii, která vede právě přes jednu z nečistot. Na tomto profilu jde jasně vidět, že daná nečistota, ale i další rýhy způsobují výkyvy, například jedna hodnota parametru drsnosti  $R_z$  dosahuje hodnoty 6,91  $\mu\text{m}$  druhá hodnota 5,34  $\mu\text{m}$  a třetí 4,91  $\mu\text{m}$ . Tyto výkyvy se pak projeví v naměřených hodnotách.



Obr. 27 Plocha povrchu N6 s detailem nerovností

Na obr. 27 je znázorněn jeden z vybraných detailů povrchu vzorku N6, na kterém lze vidět různá poškození povrchu ve formě rýh v povrchu či nalepených nečistot, které mají negativní vliv na proces měření. Dále lze také vidět profil v jedné vybrané linii, na kterém jsou ukázány odchylky na křivce, které byly způsobeny právě nerovnostmi na povrchu vzorku. Nejlépe je možné tyto odchylky pozorovat na hodnotách parametru drsnosti  $R_z$ , kdy bylo dosaženo hodnot  $4,09 \mu\text{m}$ ,  $3,17 \mu\text{m}$  a  $3,55 \mu\text{m}$ . Tyto výkyvy pak způsobí, že jsou naměřené hodnoty odlišné od původních hodnot, kterých by mělo být dosaženo.





Obr. 28 Plocha povrchu N7 s detailem nerovností

Na obr. 28 je možno vidět jeden z detailů povrchu vzorku N7, na kterém se nachází spousta rýh, nalepených nečistot a dutin v povrchu. Tyto nerovnosti mohou ovlivnit naměřené hodnoty. Dále lze také vidět profil v jedné vybrané linii, která vede právě přes některé z rýh. Na křivce tohoto profilu lze pozorovat, že dané rýhy způsobují, nepravidelné výkyvy. Například hodnoty parametru drsnosti  $R_z$  dosahují ve vybraných místech křivky velikostí 6,52  $\mu\text{m}$ , 3,78  $\mu\text{m}$  a 2,84  $\mu\text{m}$ .



## 6.5 Zhodnocení měření

Na základě naměřených hodnot profilových a plošných parametrů drsnosti povrchu, které jsou uvedeny v tabulkách 7, 8, 9 pro profil a v tabulce 10 pro plochu, je možno konstatovat, že se hodnoty liší.

Z tabulek 7, 8, 9 lze vyčíst, že všechny hodnoty parametru  $RSm$  jsou pro jednotlivé povrchy vzorku konstantní.

Tab. 11 Porovnání hodnot profilových parametrů drsnosti

|                                      | N5          |             | N6          |             | N7          |             |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                      | vzorkovnice | vypočítáno  | vzorkovnice | vypočítáno  | vzorkovnice | vypočítáno  |
| <b>Ra [<math>\mu\text{m}</math>]</b> | <b>0,4</b>  | <b>1,1</b>  | <b>0,8</b>  | <b>1,2</b>  | <b>1,6</b>  | <b>1,6</b>  |
| <b>Rp [<math>\mu\text{m}</math>]</b> | <b>0,8</b>  | <b>2,34</b> | <b>1,6</b>  | <b>3,61</b> | <b>3,2</b>  | <b>4,97</b> |
| <b>Rz [<math>\mu\text{m}</math>]</b> | <b>1,6</b>  | <b>5,76</b> | <b>3,2</b>  | <b>7,09</b> | <b>6,3</b>  | <b>8,49</b> |

V tab. 11 je možno pozorovat, že je odchylka vypočítaných hodnot od hodnot uvedených na vzorkovnici, minimální u parametru  $Ra$  ve srovnání s odchylkou hodnot u ostatních parametrů drsnosti. Naopak největší rozdíl hodnot byl zaznamenán u parametrů  $Rz$  a  $Rp$ . Tento rozdíl je nejlépe vidět na velikostech maximálních a minimálních hodnot těchto parametrů a velikostech směrodatných odchylek  $S(x)$  (viz tab. 7, 8, 9). Parametr drsnosti  $Rz$  je dán součtem parametrů  $Rp$  a  $Rv$ , který nebyl na vzorkovnici uveden, proto je možné předpokládat, že také nabývá vyšších hodnot, než kterých by mělo být dosaženo.

Odlišnost hodnot, která je zaznamenána během měření, je způsobena různorodostí profilů jednotlivých vzorků, na kterých jde v mnoha případech vidět extrémní výkyvy vzhledem k ose profilu (viz obr. 22, 23, 24). Extrémní výkyvy jsou způsobeny například nalepenými nečistotami na povrchu, dutinami, rýhami v povrchu apod. Tyto výkyvy je možno vidět na obr. 26, 28 nebo na obr. 31, 32, 33 v příloze C, D, E. Tyto jevy způsobily i to, že hodnoty, uvedené na vzorkovnici nebyly dosaženy.

Při srovnání hodnot z tabulek 7, 8, 9 a tabulky 10, lze vidět, že hodnoty parametrů plochy povrchu  $Sa$ ,  $Sz$ ,  $Sp$ ,  $Sv$  jsou mnohem větší než u parametrů profilu povrchu  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rp$ ,  $Rv$ . Tento jev je způsoben tím, že u parametrů plochy povrchu se vychází z celé měřené části, na které je více výkyvů (viz obr. 25 a obr. 29, 30 v příloze B), kdežto u profilu se vychází vždy z jednotlivých linií.

## 7 Závěr

Teoretická část práce byla zaměřena na analýzu současného stavu měření drsnosti povrchu, a to jak profilu, tak i plochy. Byla zde popsána technologie soustružení, kterou byl povrch obroben, přístroje pro měření topografie povrchu, a to jak kontaktní, tak bezkontaktní, které se v dnešní době řadí v oblasti měření mezi moderní trendy. Pro tyto přístroje byly uvedeny i jejich výhody a nevýhody. Z uvedených způsobů měření topografie povrchu byla více popsána metoda bezkontaktního měření, která byla využívána v experimentální části práce. Následně byly popsány vybrané profilové parametry drsnosti dle normy ČSN EN ISO 4287 a plošné parametry drsnosti dle normy ČSN EN ISO 25178-2. V současné době se začíná využívat plošných parametrů drsnosti získaných měřením plochy, které postupně nahrazují profilové parametry z důvodu toho, že je možno získat objektivnější informace získané z celé plochy povrchu vzorku pro další analýzy.

V praktické části byl porovnáván charakter povrchu vzorků etalonu metodou bezkontaktního měření pomocí optického profilometru MikroProf FRT, který pracuje na principu využití bílého světla, pomocí kterého se povrch měří. Informace o měření byly zaznamenány do počítače, kde jsou analyzovány pomocí programu SPIP. Měřená část vzorku tvořila 4x4 mm. V tabulkách 7, 8, 9 jsou uvedeny naměřené hodnoty profilových parametrů drsnosti  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rp$ ,  $Rv$  a  $RSm$ . Tyto parametry byly zprůměrovány, byla zjištěna maximální a minimální hodnota každého z nich a nakonec byla vypočtena jejich směrodatná odchylka  $S(x)$ . Z těchto výpočtů byly zjištěny rozdíly u jednotlivých parametrů profilu od hodnot na vzorkovnici. Na obr. 22, 23, 24 jsou graficky znázorněny profily jednotlivých povrchů. V tab. 10 jsou uvedeny naměřené plošné parametry drsnosti  $Sa$ ,  $Sz$ ,  $Sp$ ,  $Sv$ . Na obr. 25, 26, 27, 28 a v přílohách B, C, D, E jsou znázorněny vybrané části plochy povrchu, podle kterých byly také vysvětleny odchylky od hodnot uvedených na vzorkovnici. Celé měření i analýza byly provedeny na Ústavu geoniky AV ČR, v. v. i v Ostravě.

Z porovnání profilových a plošných parametrů drsnosti bylo zjištěno, že mnohem lepších a názornějších výsledků je možno dosáhnout při měření plochy než profilu, protože u plochy povrchu se vychází vždy z celé měřené části, kdežto u profilu jen z jednotlivých linií.

## Seznam použité literatury

- [1] Pokrok v měření a hodnocení struktury povrchu. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. Praha: [www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com), 2017 [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pokrok-v-mereni-a-hodnoceni-struktury-povrchu-2.html>
- [2] METELKOVÁ, Jitka. *POKROČILÉ METODY VYHODNOCOVÁNÍ TOPOGRAFIE POVRCHU : bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2014, 77 s. Vedoucí práce: Prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
- [3] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Technologie II. 2. díl*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008. 142 s. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [4] Výškové parametry textury povrchu. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. Praha: [www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com), 2017 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyskove-parametry-textury-povrchu.html>
- [5] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie. Část 2, Základy řízení jakosti*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006. 86 s. ISBN 80-248-1209-6.
- [6] Popis obecné geometrie břitu řezných nástrojů | TumliKOVO: Technologie strojního obrábění kovů. *Technologie strojního obrábění kovů a broušení nástrojů* [online]. TumliKOVO, 2010 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/geometrie-britu-obecne/>
- [7] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Technologie II. 1. díl*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. 119 s. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [8] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3. 1. díl, Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. Praha: Scientia, 2000. 256 s. ISBN 80-7183-207-3.
- [9] Matematické modely dokáží účinně vypočítat životnost nástroje - Seco Tools. *Domů - Seco Tools* [online]. Brno: Seco Tools, 2017 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/cs/CZ-Czech-Republic/Aktuality/TECHNICKE-LANKY/Matematicke-modely-dokai-uinn-vypoitat-ivotnost-nastroje/>

- [10] ČEP, Robert a Jana PETRŮ. *Experimentální metody v obrábění: učební text*. Ostrava: VŠB-TUO, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011. 146 s. ISBN 978-802-4825-335.
- [11] KLICH, Ondřej. *Vliv technologických parametrů na topografii povrchu materiálu vytvořených pulzujícím vodním paprskem : bakalářská práce*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže, 2011, 37 s. Vedoucí práce: Doc. Ing. Jan VALÍČEK, Ph.D.
- [12] PERNIKÁŘ, Jiří, Miroslav TYKAL a Josef VAČKÁŘ. *Jakost a metrologie: část: metrologie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.
- [13] ČSN EN ISO 4287 : *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999, 24 s.
- [14] Drsnost povrchu dle DIN EN ISO - HOMMEL CS s.r.o. *HOMMEL CS s.r.o.* [online]. Teplice: HOMMEL CS, 2017 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <https://www.hommel-etamic.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>
- [15] ŠPERKA, Petr. *Struktura povrchů vybraných strojních součástí* [online]. Brno, 2009 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: [http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/vyuka/Struktura\\_povrchu\\_vybranych\\_techologii\\_obrabeni.pdf](http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/vyuka/Struktura_povrchu_vybranych_techologii_obrabeni.pdf)
- [16] Attension Applications - Biolin Scientific. *Scientific Instrumentation - Biolin Scientific* [online]. Västra Frölunda: Biolin Scientific Holding AB, 2016 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.biolinscientific.com/attension/applications/?card=AA14>
- [17] What Is Surface Roughness? | Introduction To Roughness | Introduction To Roughness | KEYENCE America. *KEYENCE Global Home* [online]. Ósaka: KEYENCE CORPORATION, 2017 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://www.keyence.com/ss/products/microscope/roughness/line/index.jsp>
- [18] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie* [online]. Ostrava, 2004 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>

- [19] ČSN EN ISO 25178-2 : *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Plocha – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 52 s.
- [20] ČSN EN ISO 25178-3 : *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Plocha – Část 3: Specifikace operátorů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 20 s.
- [21] ČSN EN ISO 3274 : *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Jmenovité charakteristiky dotykových (hrotových) přístrojů*. Praha: Český normalizační institut, 1999, 20 s.
- [22] TICHÁ, Šárka a Jaromír ADAMEC. *Návody do cvičení z předmětu Strojírenská metrologie*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008. 89 s. ISBN 978-80-248-1916-7.
- [23] IMECO TH s.r.o. - Produkty. *IMECO TH s.r.o.* [online]. Modřice: NetWings Solutions s.r.o, 2013 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://www.imeco-th.cz/prod?products=esearch>
- [24] Operating Manual FRT MicroProf®, © Fries Research & Technology GmbH, Friedrich Ebert Straße, Germany, version 1.214, manual dated 2009-03-18.
- [25] ČEPOVÁ, Lenka a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, katedra obrábění a montáže, 2011. 125 s. ISBN 978-80-248-2514-4.

## Seznam použitých obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1 Povrch po soustružení.....   | 10 |
| Obr. 2 Druhy soustružení a) podélné, b) čelní.....  | 10 |
| Obr. 3 Geometrie nože.....  | 12 |
| Obr. 4 Vliv řezných podmínek na opotřebení břitu nože .....   | 14 |
| Obr. 5 Oblasti plastických deformací v oblasti řezání.....  | 15 |
| Obr. 6 Profil nerovnosti povrchu .....  | 16 |
| Obr. 7 Základní délka $l_r$ a vyhodnocovaná délka $l_n$ .....   | 17 |
| Obr. 8 Přenosová charakteristika profile drsnosti a vlnitosti.....  | 18 |
| Obr. 9 Zpracování měřeného povrchu .....  | 18 |
| Obr. 10 Geometrické parametry profilu .....   | 19 |
| Obr. 11 Největší výška výstupku profilu $R_p$ , největší hloubka prohlubně profilu $R_v$ , největší výška profilu $R_z$ ..... | 20 |
| Obr. 12 Parametr profilu $R_a$ .....  | 21 |
| Obr. 13 Parametr $R_{Sm}$ .....   | 21 |
| Obr. 14 Filtrace plochy .....   | 22 |
| Obr. 15 Vztahy mezi S-filtrem, L-filtrem, F- operací a S-F a S-L povrchy .....  | 23 |
| Obr. 16 Objasnění vybraných výškových parametrů textury povrchu .....   | 25 |
| Obr. 17 Princip měření dotykovým profilometrem .....  | 27 |
| Obr. 18 Optický profilometr MicroProf FRT .....   | 29 |
| Obr. 19 Snímání povrchu vzorkovnice .....   | 30 |
| Obr. 20 Vzorkovnice soustružení RUGOTEST 102 .....  | 31 |
| Obr. 21 Ukázka z programu SPIP .....  | 32 |
| Obr. 22 Profil drsnosti – povrch N5 .....   | 35 |
| Obr. 23 Profil drsnosti – povrch N6 .....   | 36 |
| Obr. 24 Profil drsnosti – povrch N7 .....   | 36 |
| Obr. 25 Plocha povrchu vzorku N7 .....  | 37 |
| Obr. 26 Plocha povrchu vzorku N5 s detailem nerovností .....  | 38 |
| Obr. 27 Plocha povrchu N6 s detailem nerovností .....   | 39 |
| Obr. 28 Plocha povrchu N7 s detailem nerovností .....   | 40 |

## Seznam použitých tabulek

|         |  |    |
|---------|--|----|
| Tab. 1  | Hodnoty řezných rychlostí pro soustružení .....                          | 13 |
| Tab. 2  | Posuvy pro soustružení .....   | 13 |
| Tab. 3  | Velikost hloubky záběru při soustružení .....                            | 14 |
| Tab. 4  | Výhody a nevýhody dotykových měřidel.....                                | 27 |
| Tab. 5  | Výhody a nevýhody optických metod .....                                  | 28 |
| Tab. 6  | Parametry drsnosti povrchu vzorků .....                                  | 32 |
| Tab. 7  | Profilové parametry povrchu vzorku N5 – pro $Ra\ 0,4\ \mu\text{m}$ ..... | 34 |
| Tab. 8  | Profilové parametry povrchu vzorku N6 – pro $Ra\ 0,8\ \mu\text{m}$ ..... | 34 |
| Tab. 9  | Profilové parametry povrchu vzorku N7 – pro $Ra\ 1,6\ \mu\text{m}$ ..... | 35 |
| Tab. 10 | Plošné parametry drsnosti.....   | 37 |
| Tab. 11 | Porovnání hodnot profilových parametrů drsnosti .....                    | 41 |

## **Seznam příloh**

Příloha A – Technické parametry přístroje MicroProf FRT

Příloha B – Vyobrazení povrchu N5, N6

Příloha C – Vyobrazení vad na povrchu N5

Příloha D – Vyobrazení vad na povrchu N6

Příloha E – Vyobrazení vad na povrchu N7